



BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

17. Oktober 2020, Online-Auftaktveranstaltung zur Fachkonferenz Teilgebiete

Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG

1. Auf dem Weg zu den Teilgebieten
2. Vorstellung der Mindestanforderungen
3. Datengrundlage
4. Anwendung der Mindestanforderungen und Beispiele
5. Zusammenfassung



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Der Weg zu den Teilgebieten

Der Weg hin zu den Teilgebieten - § 13 StandAG

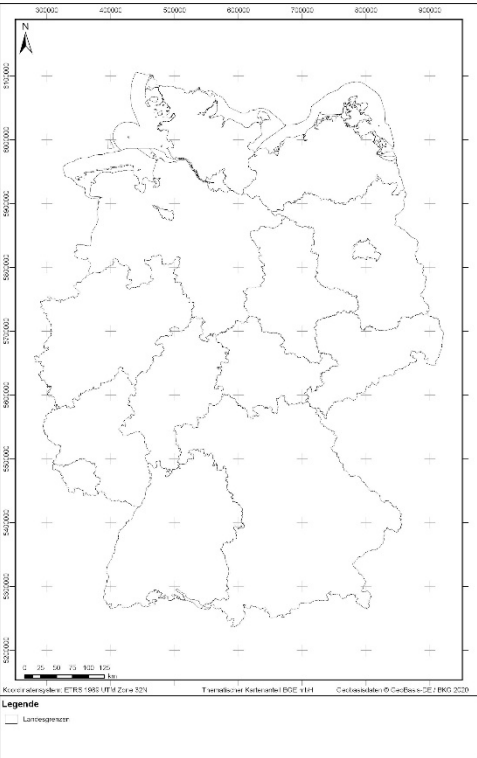
Weißer Landkarte

Anwendung
Ausschlusskriterien

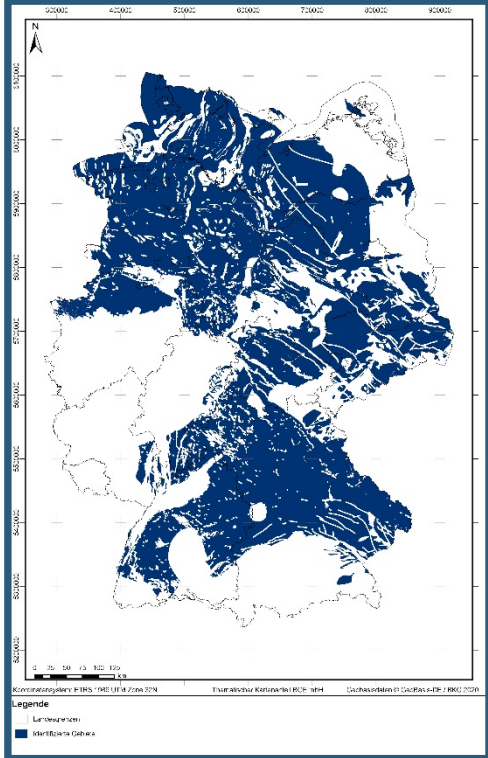
Anwendung
Mindestanforderungen

Geowissenschaftliche
Abwägung

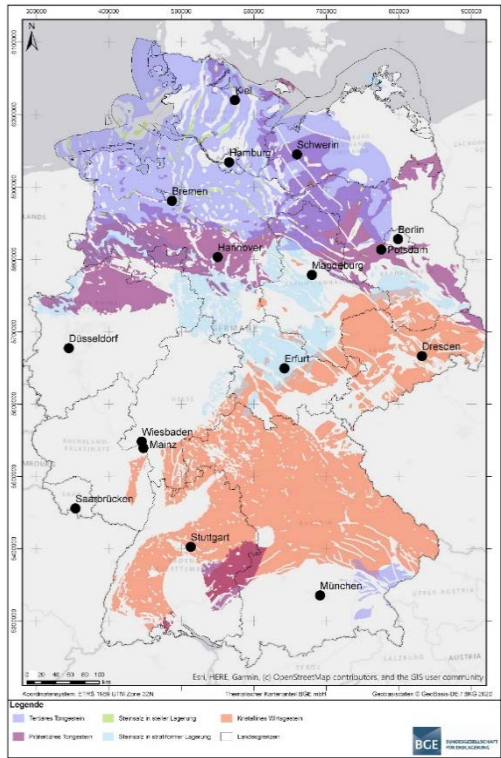
Ausgeschlossene Gebiete



Identifizierte Gebiete

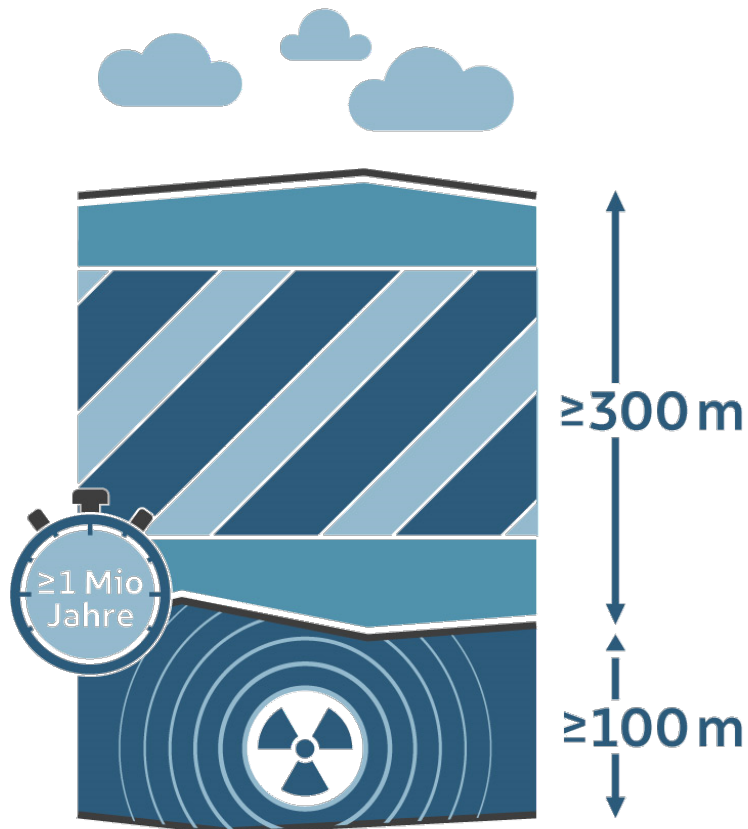


Teilgebiete



Vorstellung der Mindestanforderungen

Mindestanforderungen - § 23 Abs. 5 StandAG

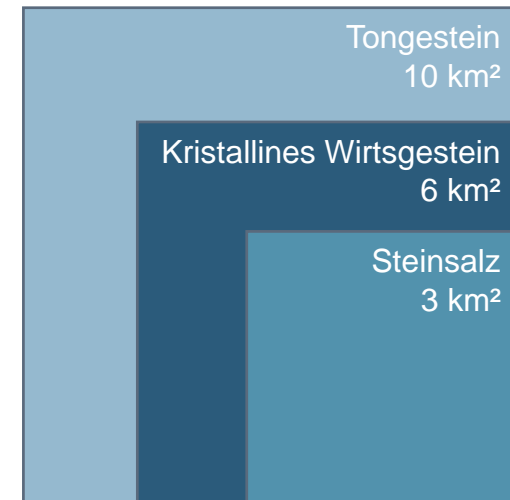


Quelle: BGE

1. Geringe Gebirgsdurchlässigkeit von 10^{-10} m/s
2. Mächtigkeit mindestens 100 Meter¹
3. Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss mindestens 300 m unter der Geländeoberfläche liegen
4. Geeignete Ausdehnung in Fläche
5. Erhalt der Barrierewirkung für 1 Million Jahre

→ alle Mindestanforderungen (Nr. 1-5) müssen erfüllt sein

¹ für Steinsalz in steiler Lagerung und Kristallin gelten besondere Anforderungen





Kristallines Wirtsgestein

- Plutonite entsprechend der Klassifikation nach Streckeisen
- Hochgradig regionalmetamorphe Gesteine (Amphibolit-, Eklogit- und Granulit-Fazies; Gneise und Migmatite)



Steinsalz

- Gesteinsbildender Hauptbestandteil ist das Mineral Halit
- Steinsalz tritt in stratiformer Lagerung auf, durch Prozesse der Salztektonik entstehen Salzstrukturen in steiler Lagerung (Salzstöcke)



Tongestein

- Tonstein und Ton sowie tondominierte Vertreter aus der kontinuierlichen Reihe Kalkstein – Mergel – Tonstein

Quelle: BGE

Wirtsgestein

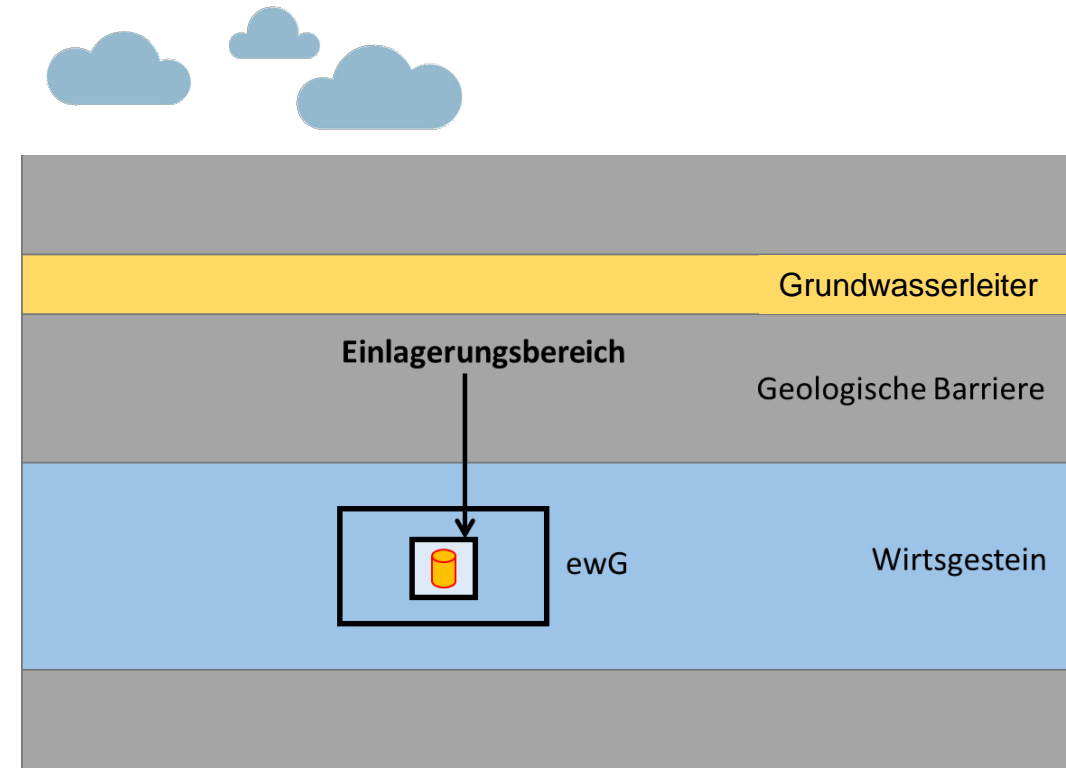
- Das Wirtsgestein umschließt den Einlagerungsbereich eines Endlagers

Einlagerungsbereich

- § 2 Nr. 10 StandAG: „Der räumliche Bereich des Gebirges, in den die radioaktiven Abfälle eingelagert werden sollen;“

Einschlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG)

- § 2 Nr. 9 StandAG: „Der Teil eines Gebirges, der bei Endlagersystemen, die wesentlich auf geologischen Barrieren beruhen, im Zusammenwirken mit den technischen und geotechnischen Verschlüssen den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem Endlager gewährleistet.“



Quelle: BGE

Was ist die Datengrundlage?

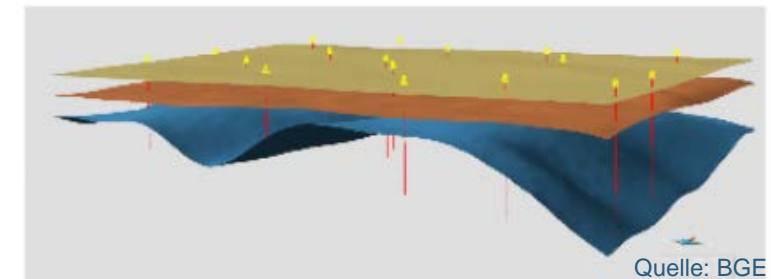
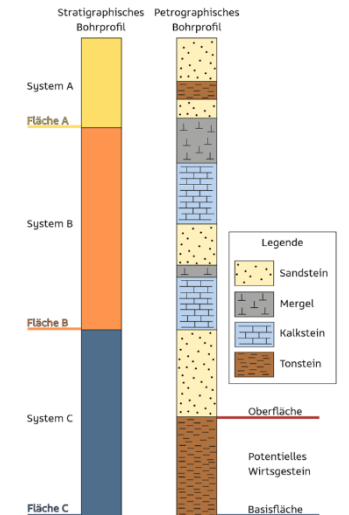
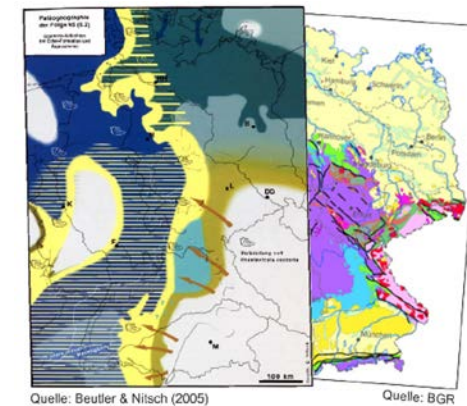
Datenabfragen bei Bundes- und Landesbehörden

1. Datenabfrage im März 2018
2. Datenabfrage im Juni 2019

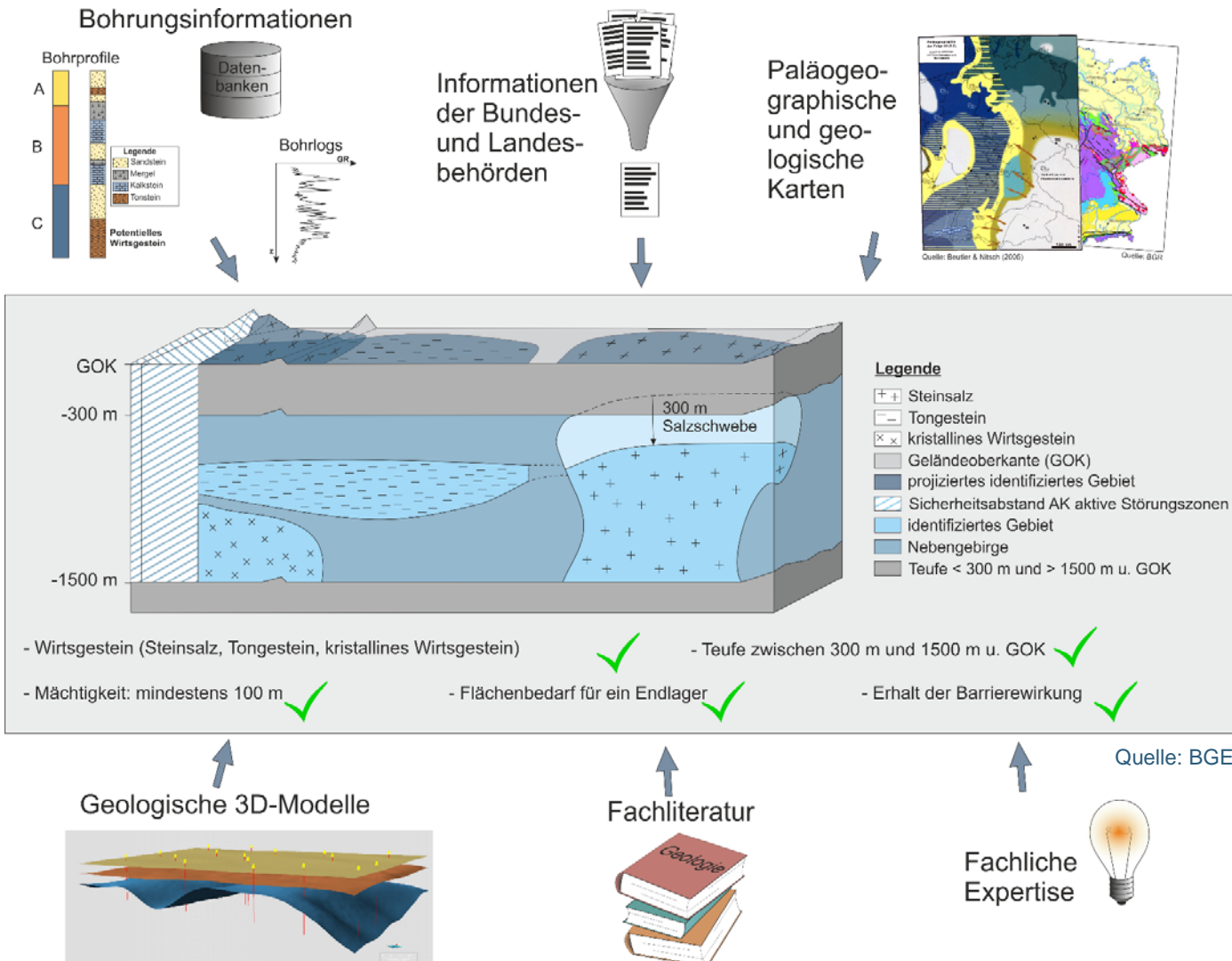
Insgesamt weitere 88 Datenabfragen oder -nachfragen

Erfragte Informationen

- Verbreitung von Wirtsgesteinen mit Mächtigkeiten > 100 m
- Lithologische Daten (Bohrakten, Bohrlochmessungen etc.)
- Thematische Karten, Berichte, Geologische 3D-Modelle



Daten- und Wissenszugang



Wie wenden wir die Mindestanforderungen an?

- Untere Begrenzung des Suchraums bei 1.500 m unter Geländeoberkante
- Begriffsbestimmungen Wirtsgestein, endlagerrelevante Gesteinstypen
- Liegen Daten zur Bewertung erst zu einem späteren Zeitpunkt des Verfahrens vor, so gilt die Mindestanforderung als erfüllt, soweit dies aufgrund der vorhandenen Datenlage zu erwarten ist (§ 23 Abs. 3 StandAG)
- Anwendung der Mindestanforderungen auf stratigraphische Einheiten, die endlagerrelevante Gesteinstypen enthalten

Anwendung der Mindestanforderungen

Arbeitsschritt 0:

Inventarisierung endlagerrelevanter stratigraphischer Einheiten

Arbeitsschritt 1:

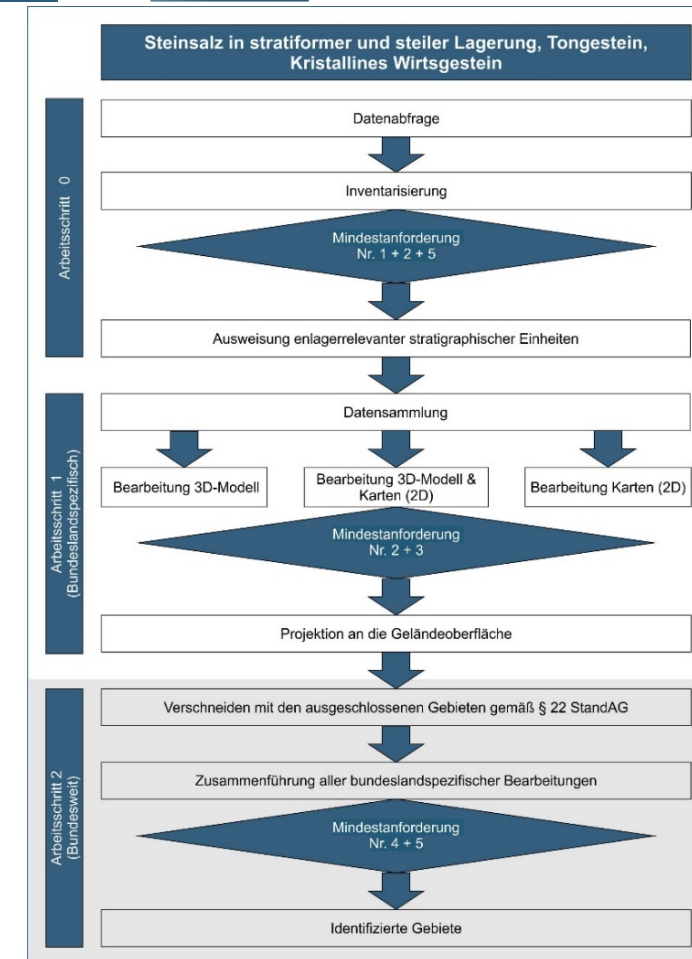
Bearbeitung der Mindestanforderungen

- erfolgt bundeslandspezifisch
- ist abhängig von der Datengrundlage und vom Gesteinstyp

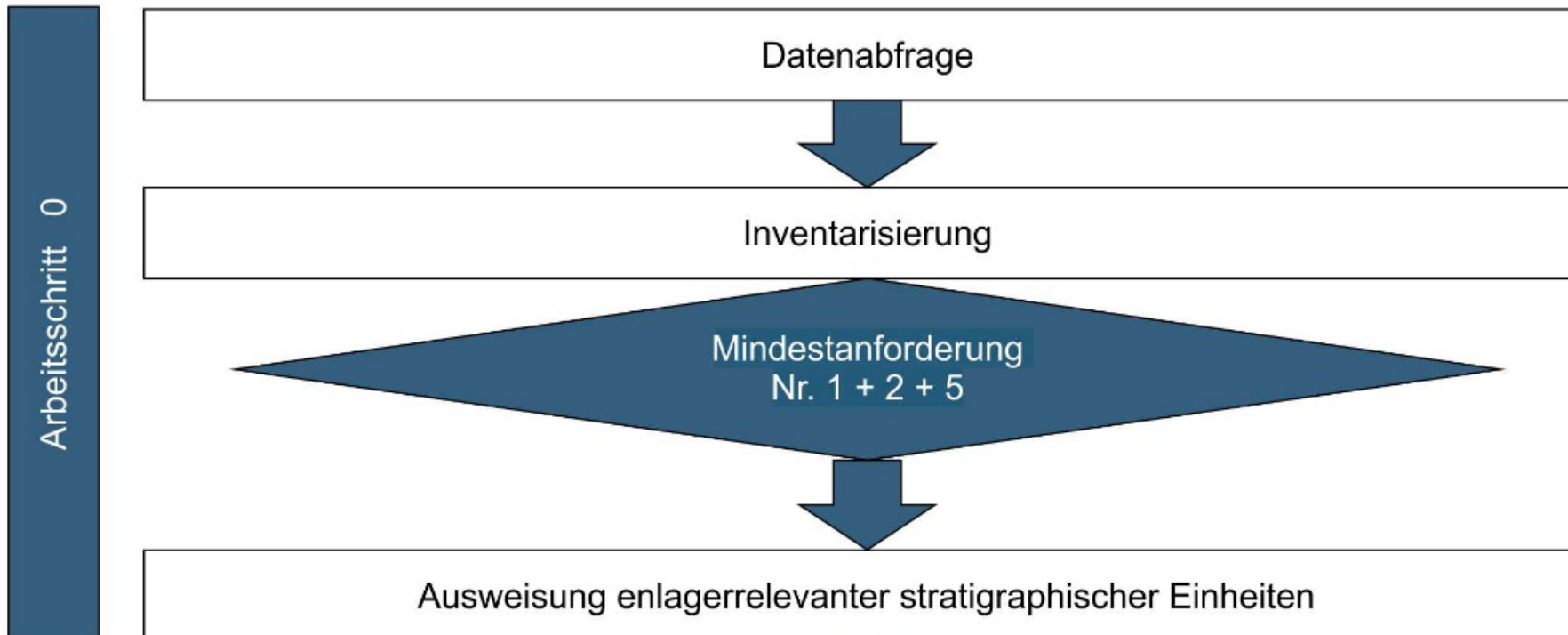
Arbeitsschritt 2:

Ausweisung identifizierter Gebiete durch

- das Verschneiden mit den ausgeschlossenen Gebieten und
- das Zusammenführen aller bundeslandspezifischer Bearbeitungen



Arbeitsschritt 0



1. Gebirgsdurchlässigkeit
2. Mindestmächtigkeit 100 m
3. Mind. 300 m u.GOK
4. Flächenbedarf
5. Barrierewirkung für 1 Million Jahre

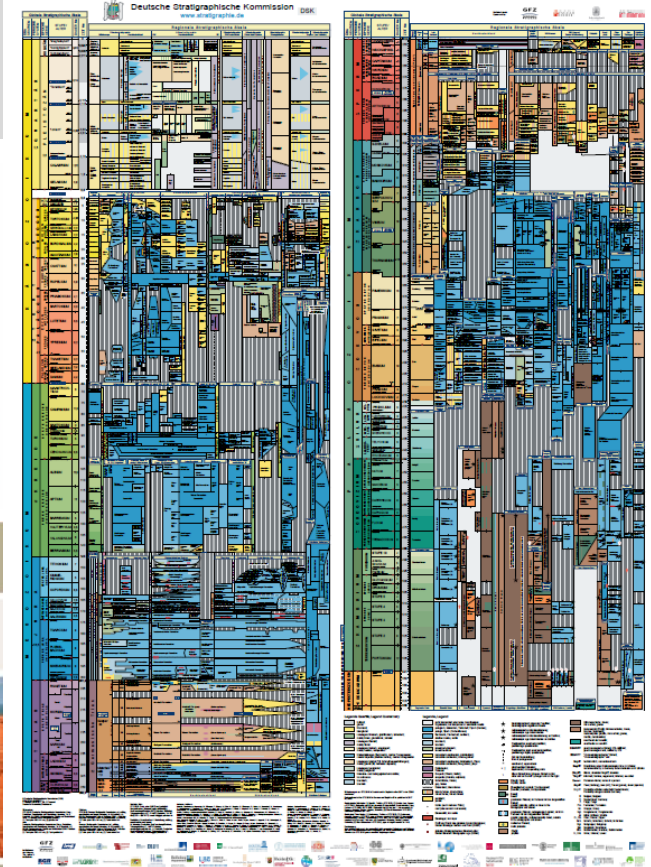
Arbeitsschritt 0 - Inventarisierung

Datenrecherche:
Fachthematische Karten,
Fachliteratur

**Stratigraphische Tabelle
Deutschland:** stratigraphische
Gliederung und Vorkommen
geologischer Einheiten in
Deutschland



Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016 STD 2016



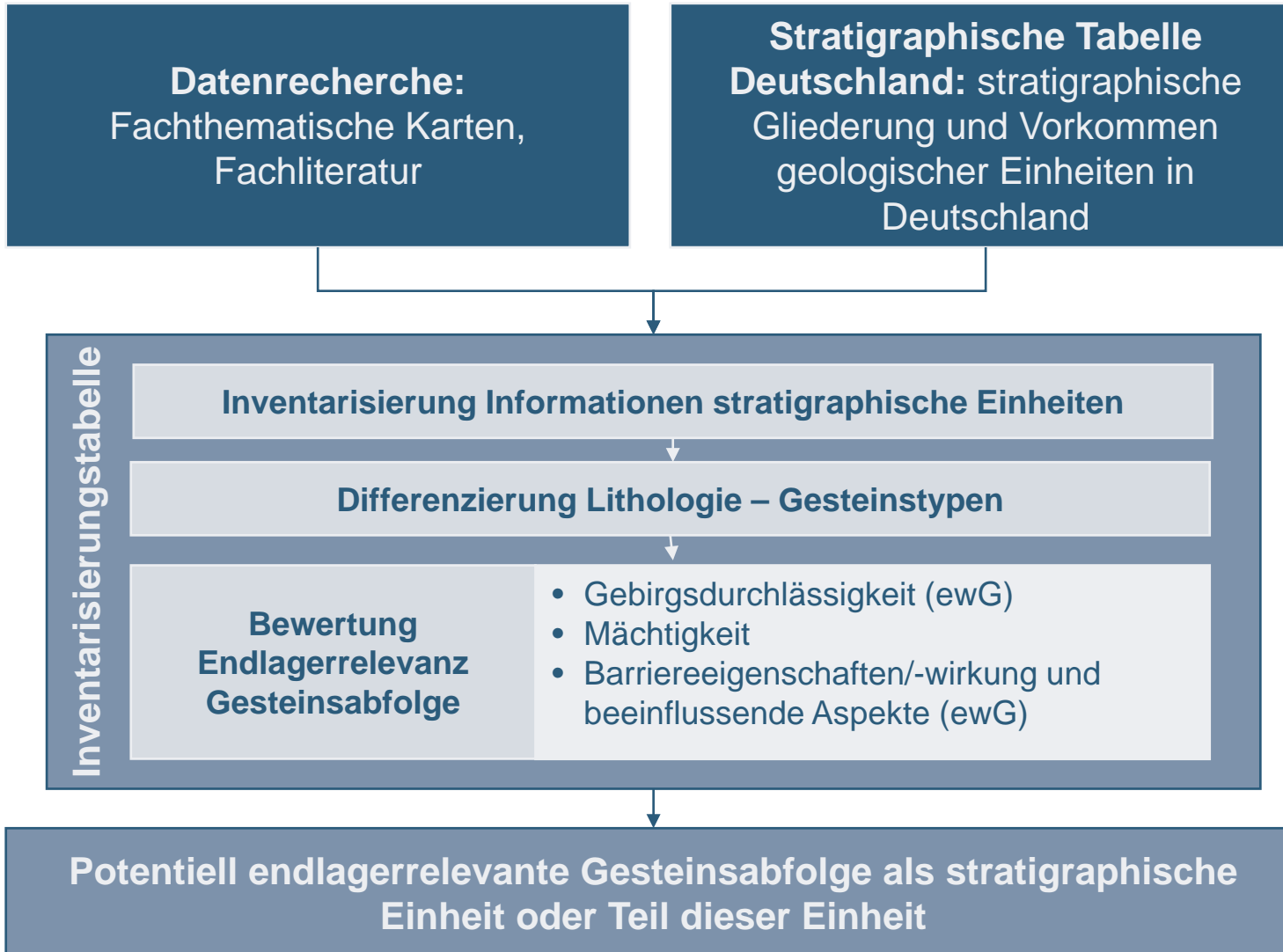
(Deutsche Stratigraphische Kommission, 2016)

Stratigraphie und Lithologie - Erklärvideo

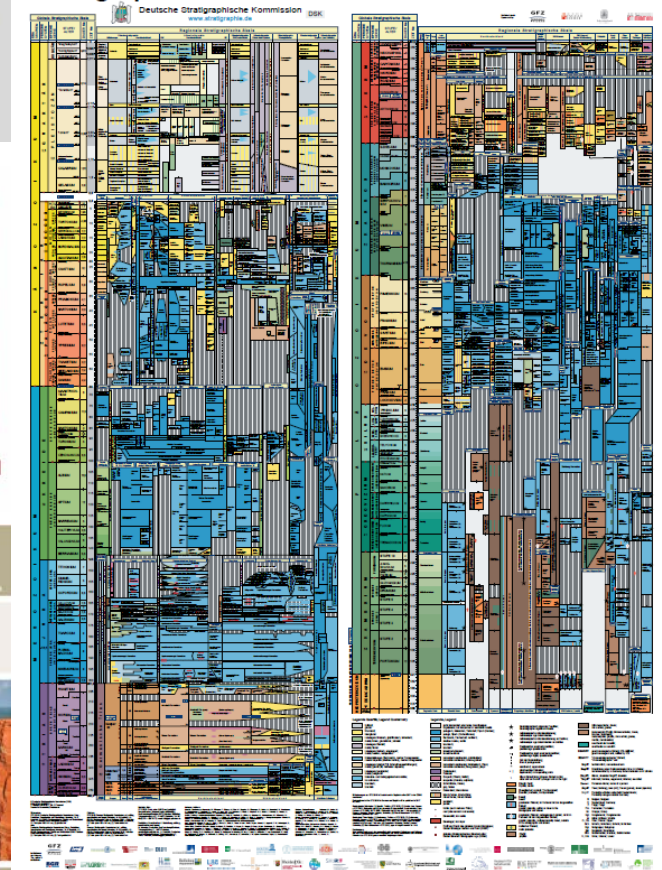


<https://www.youtube.com/watch?v=575Yb5ez0nU>

Inventarisierung (Arbeitsschritt 0)

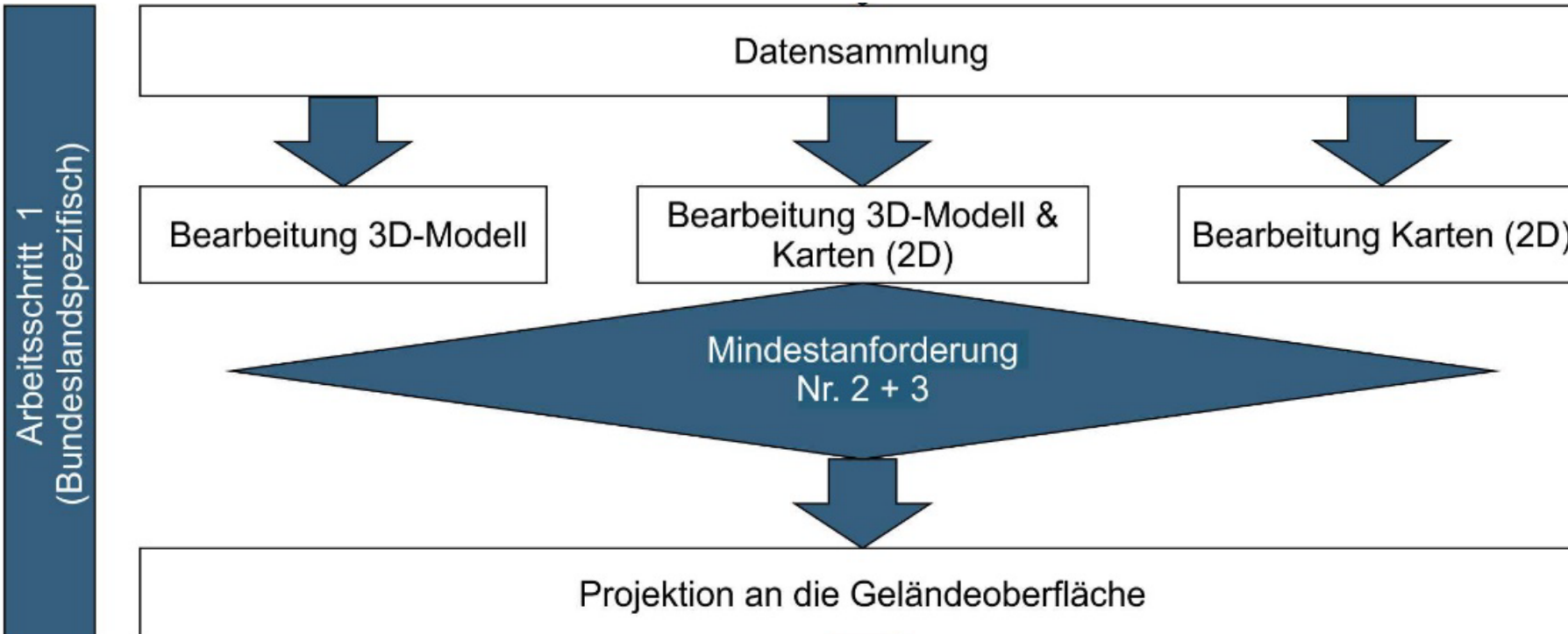


Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016 STD 2016



(Deutsche Stratigraphische Kommission, 2016)

Arbeitsschritt 1



1. Gebirgsdurchlässigkeit
2. Mindestmächtigkeit 100 m
3. Mind. 300 m u.GOK
4. Flächenbedarf
5. Barrierewirkung für 1 Million Jahre

3D-Geomodelle - Erklärvideo



<https://www.youtube.com/watch?v=4NxNCBzOgrI>

Arbeitsschritt 2

Arbeitsschritt 2
(Bundesweit)

Verschneiden mit den ausgeschlossenen Gebieten gemäß § 22 StandAG



Zusammenführung aller bundeslandspezifischer Bearbeitungen

Mindestanforderung
Nr. 4 + 5

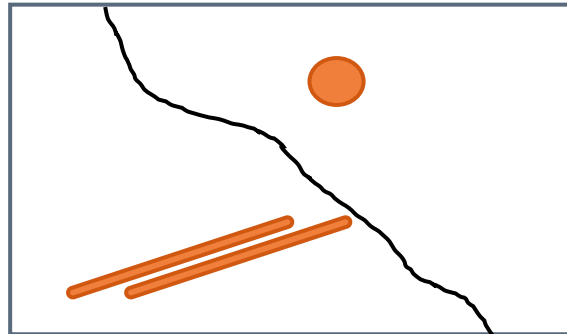


Identifizierte Gebiete

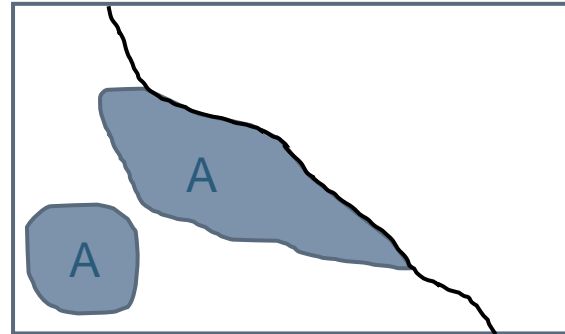
1. Gebirgsdurchlässigkeit
2. Mindestmächtigkeit 100 m
3. Mind. 300 m u.GOK
4. Flächenbedarf
5. Barrierewirkung für 1 Million Jahre

Arbeitsschritt 2

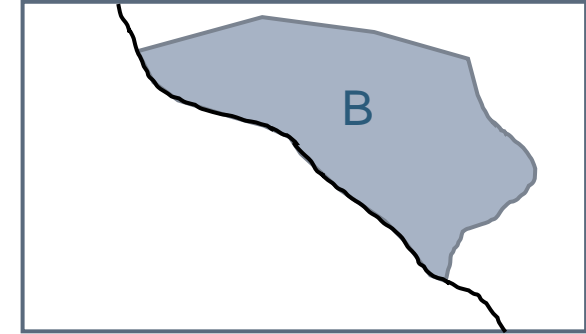
Ausgeschlossene Gebiete
§ 22 StandAG



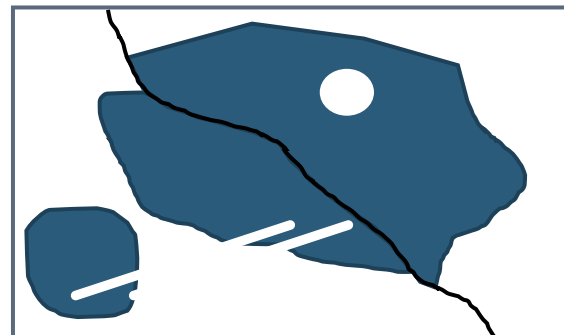
Ergebnis Bearbeitung Bundesland A



Ergebnis Bearbeitung Bundesland B



=



Prüfung Flächenbedarf
gemäß § 23 Abs. 5 Nr. 4 StandAG

Prüfung Barriereintegrität
gemäß § 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG

identifizierte Gebiete

Gesteinsspezifische Bearbeitung und Beispiele

Tongestein



Quelle: BGE

Tongestein

- Tonstein und Ton sowie tondominierte Vertreter aus der kontinuierlichen Reihe Kalkstein – Mergel – Tonstein

Vorteile

- Geringe Durchlässigkeit
- Hohes Rückhaltevermögen gegenüber Radionukliden
- Einige Tonminerale sind quellfähig → Selbstabdichtung von Rissen und Klüften

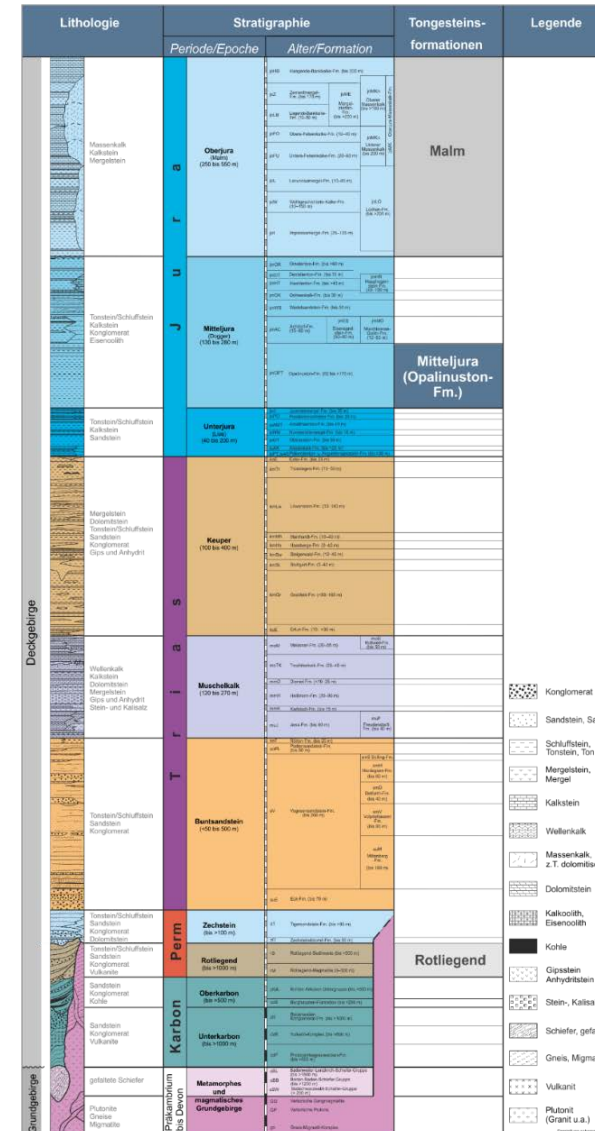
Nachteile

- Temperaturbelastbarkeit

Relevante stratigraphische Einheiten

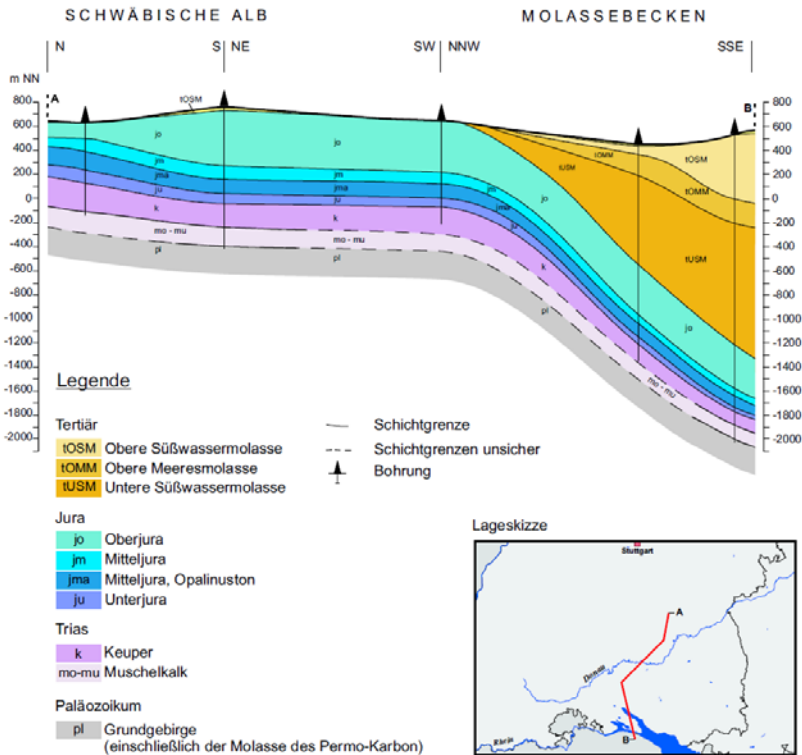
Stratigraphischen Einheiten in Süddeutschland, die potentiell relevantes Tongestein enthalten:

- Rotliegend (Meisenheim-Formation, Standenbühl-Formation)
- Mitteljura (Opalinuston-Formation)
- Oberjura (Kandern-Formation)
- Oberkreide
- Tertiär



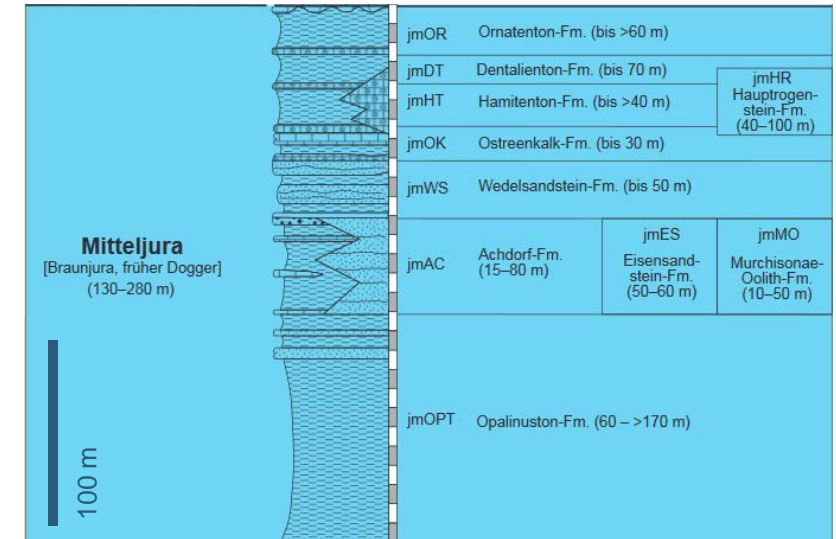
Schematisierte lithologische Schichtenfolge und Stratigraphie für Süddeutschland (links) und das Känozoikum in Süddeutschland (rechts) (basierend auf Geyer et al. 2011, Villinger et al. 2016 und Reinhold et al. 2016).

Opalinuston-Formation (Süddeutschland)



Profilschnitt durch die Schwäbische Alb und das Molassebecken (Hoth et al. 2007)

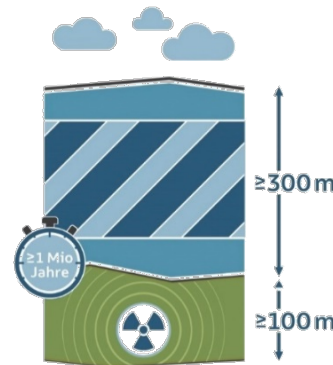
- Der Mittlere Jura beginnt mit der Opalinuston-Formation (Dogger α)
- Verbreitung in weiten Teilen Bayerns und Baden-Württembergs
- Tonsteine und Tonmergelsteine
- Geringe laterale Variabilität der Fazies und eine relativ einheitliche Lithologie



(Villinger, Nitsch & Crocoll 2016)

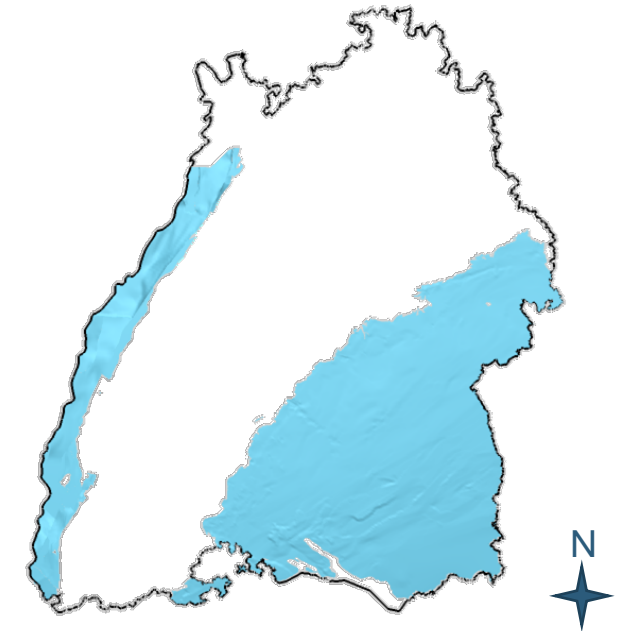
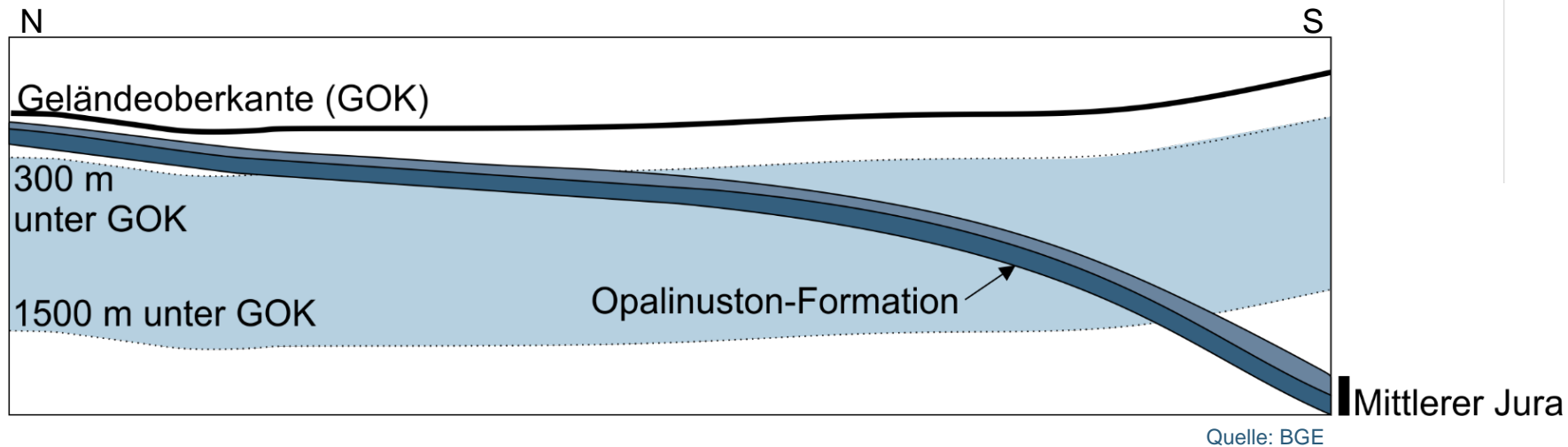
Gebirgsdurchlässigkeit

§ 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG



Opalinuston-Formation (Baden-Württemberg)

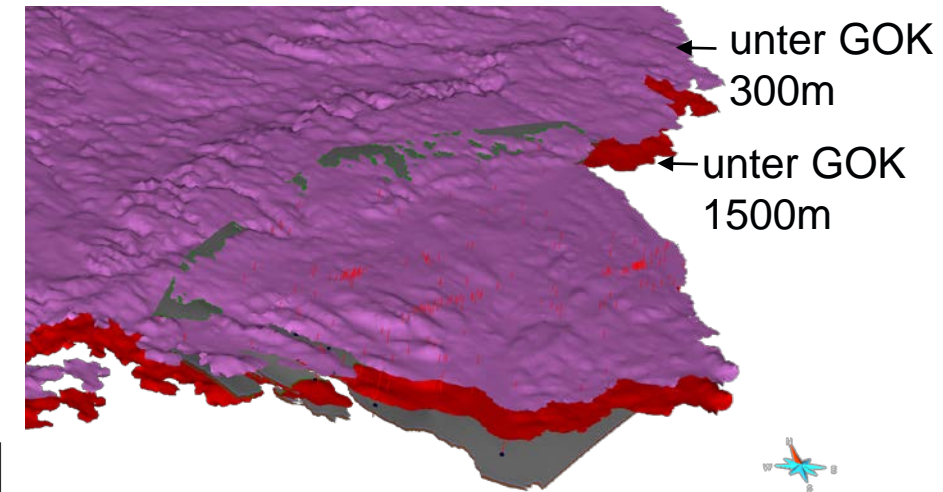
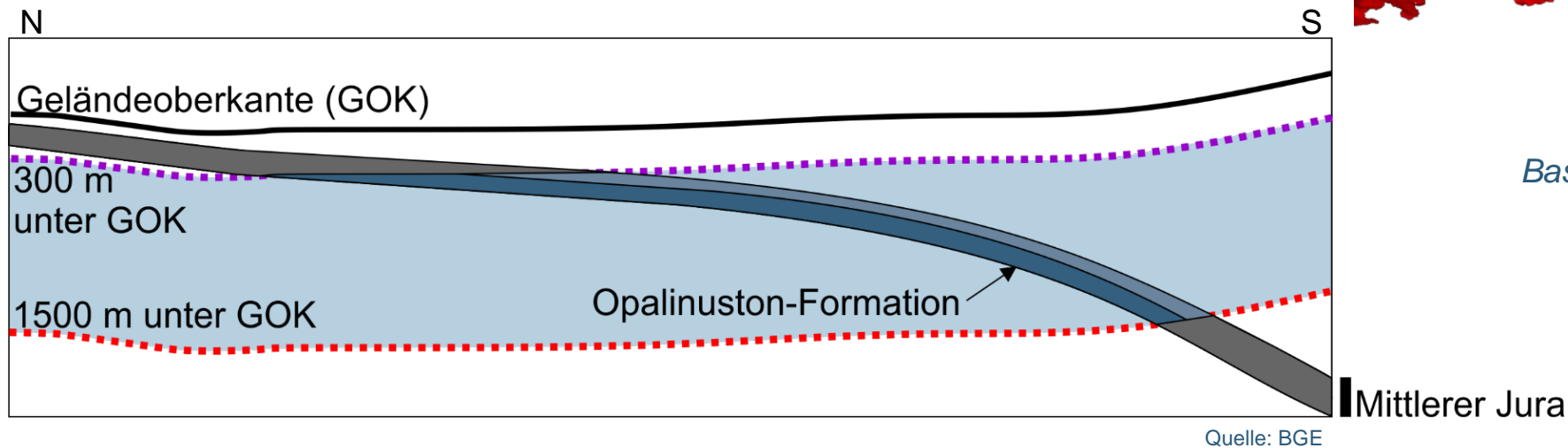
- Flächendeckendes 3D-Modell mit 13 Horizonten, Störungsflächen, Geländeoberkante von Baden-Württemberg
- Für die Bearbeitung wurde aus dem 3D-Modell die Basisfläche Mitteljura verwendet



Basisfläche Mitteljura in blau dargestellt (Landesmodell Baden-Württemberg, 5x überhöht)

Opalinuston-Formation (Baden-Württemberg)

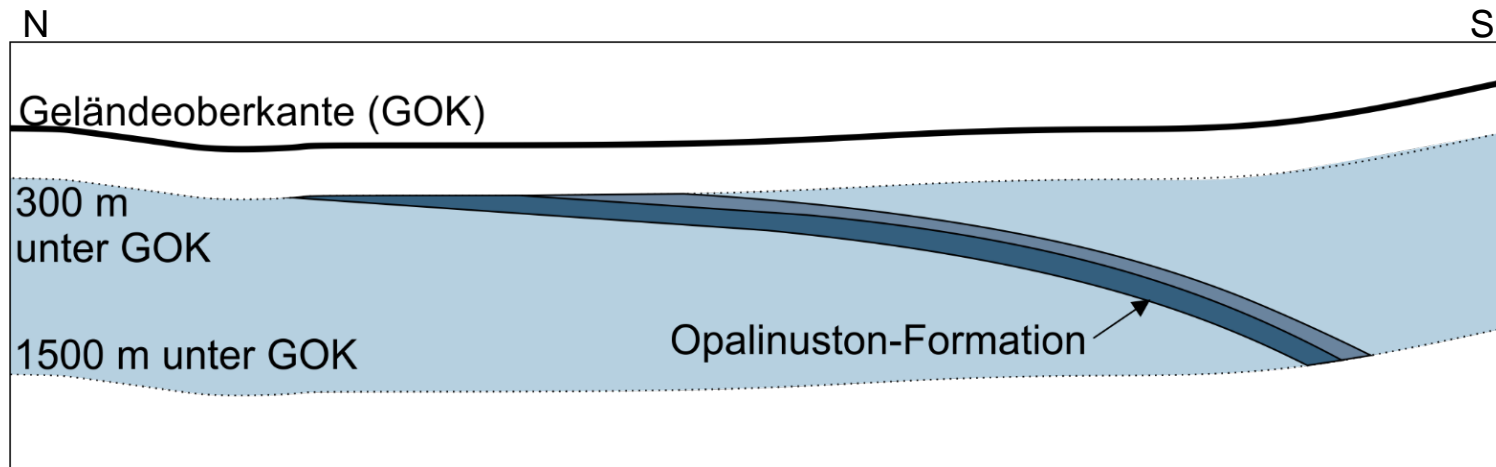
- Das digitale Geländemodell wird dupliziert und um 300 m bzw. 1500 m in die Tiefe verschoben
- Basisfläche des Mittleren Jura wird mit den in die Tiefe verschobenen Flächen verschnitten



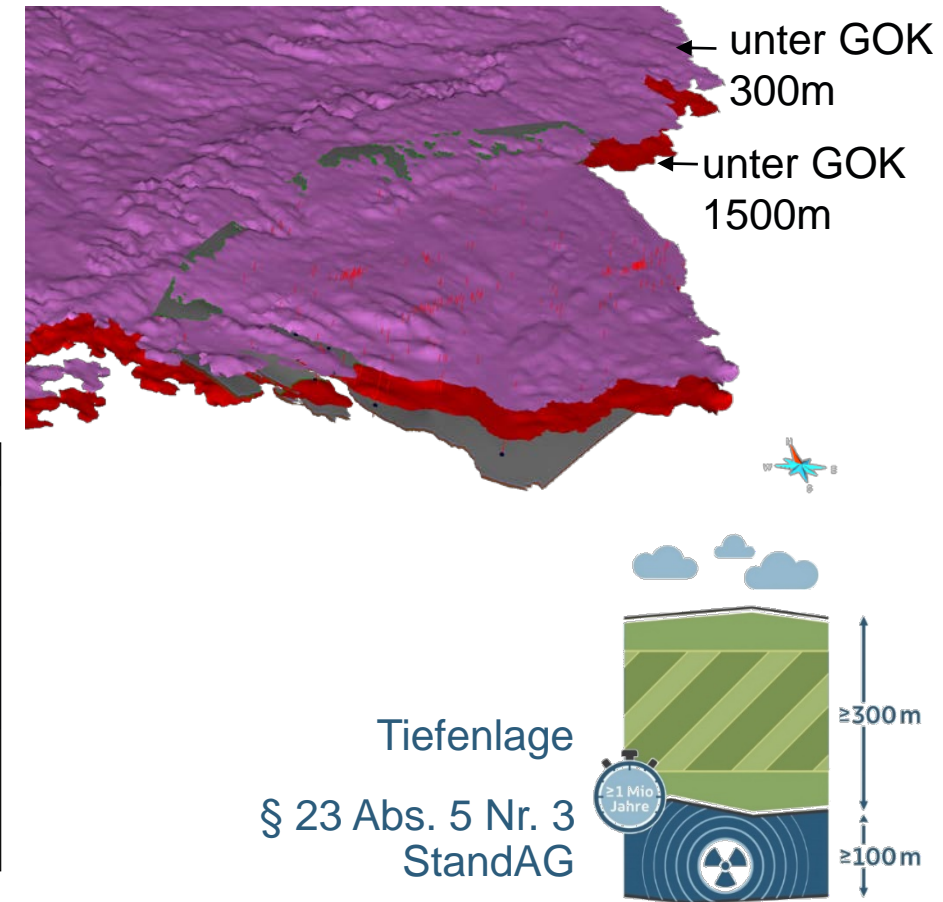
Basisfläche Mitteljura (grau) und Flächen der GOK, versetzt auf -300 m (violett) und -1500 m (rot) (5-fach überhöht)

Opalinuston-Formation (Baden-Württemberg)

- Das digitale Geländemodell wird dupliziert und um 300 m bzw. 1500 m in die Tiefe verschoben
- Basisfläche des Mittleren Jura wird mit den in die Tiefe verschobenen Flächen verschnitten

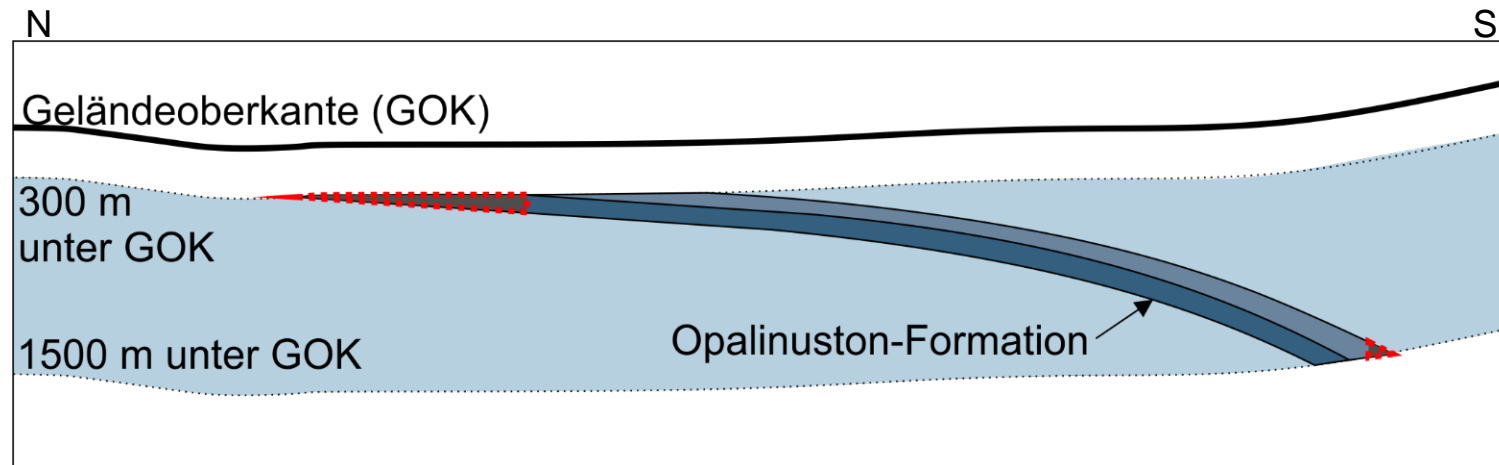


Quelle: BGE

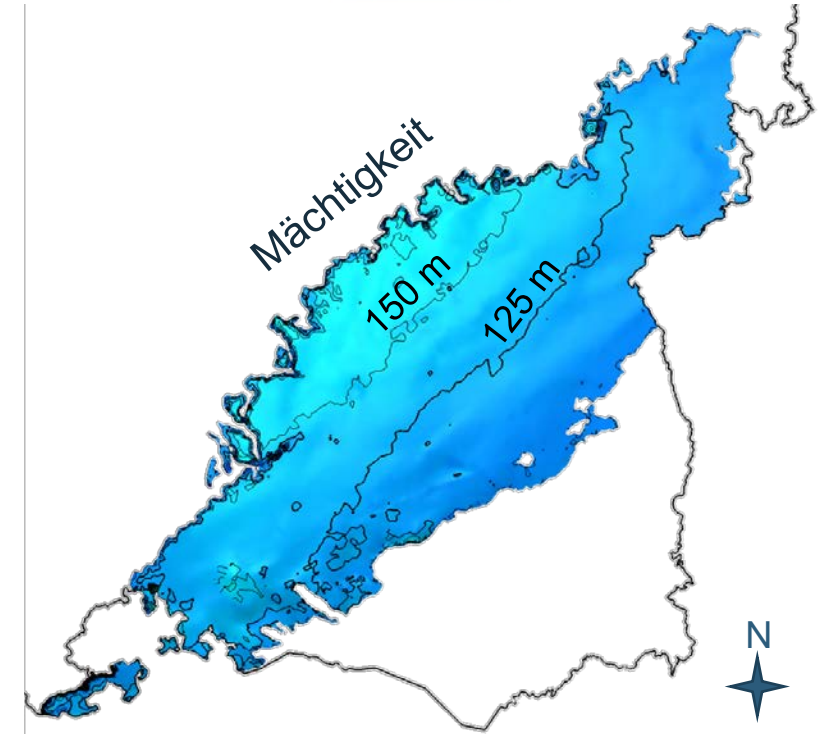


Opalinuston-Formation (Baden-Württemberg)

- Die Mächtigkeit wurde mittels kürzester Distanz zwischen der Bearbeitungsfläche Braunjura und der Topfläche (Mittleren Jura & die 300 m abgesenkten Geländeoberfläche) berechnet

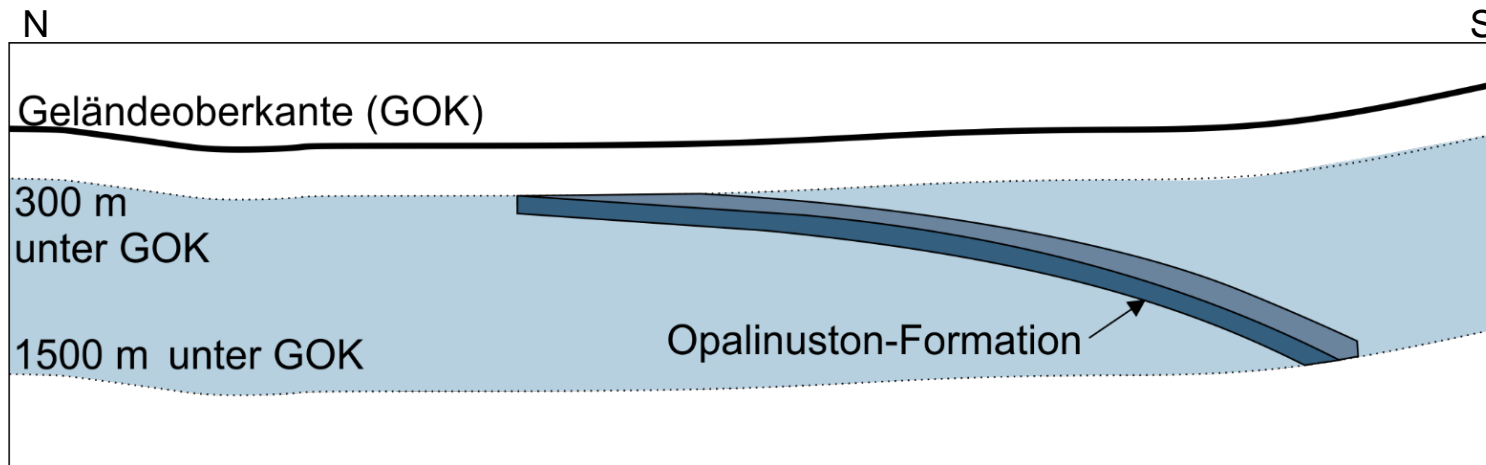


Quelle: BGE

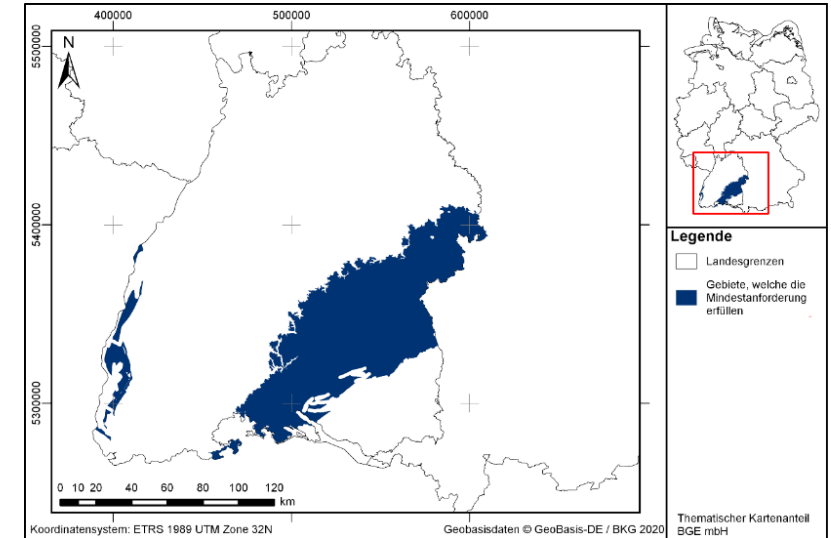


Opalinuston-Formation (Baden-Württemberg)

- Bereiche mit einer Mächtigkeit von weniger als 100 m wurden nicht betrachtet
- Plausibilitätsprüfung anhand von vorhandenen Bohrungen

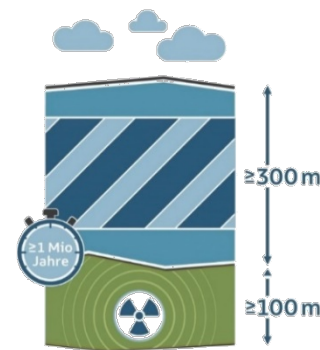


Quelle: BGE



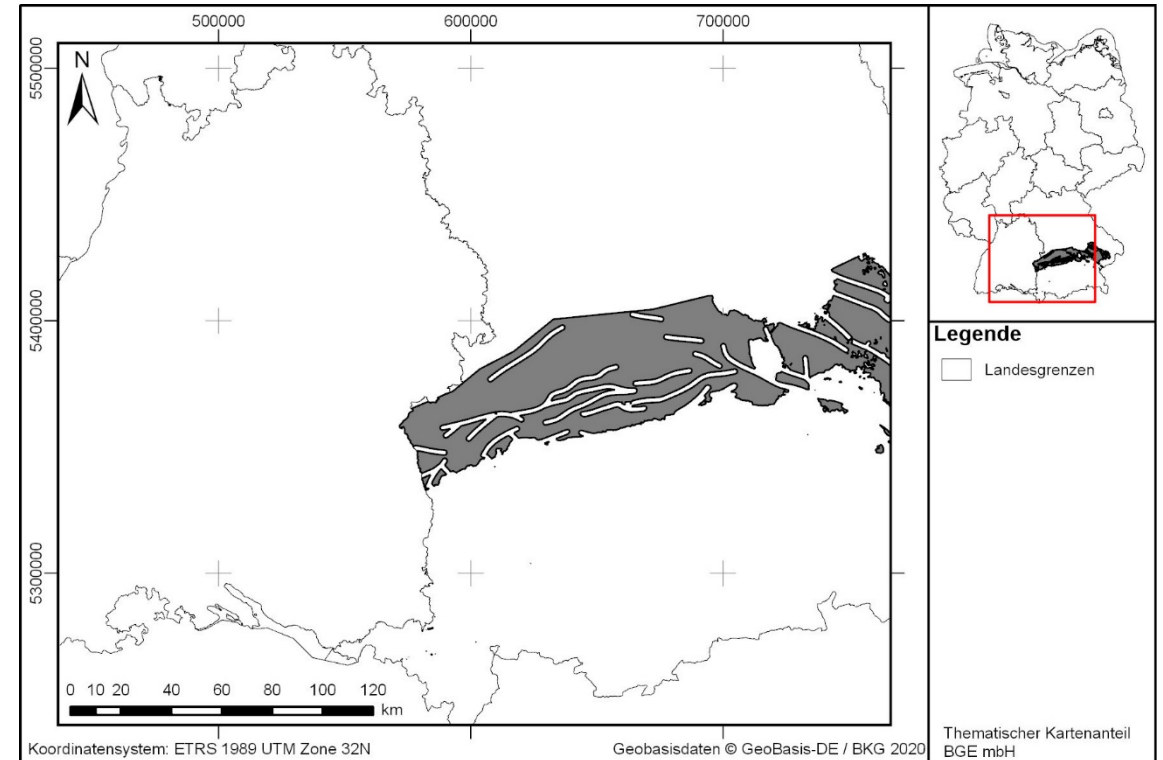
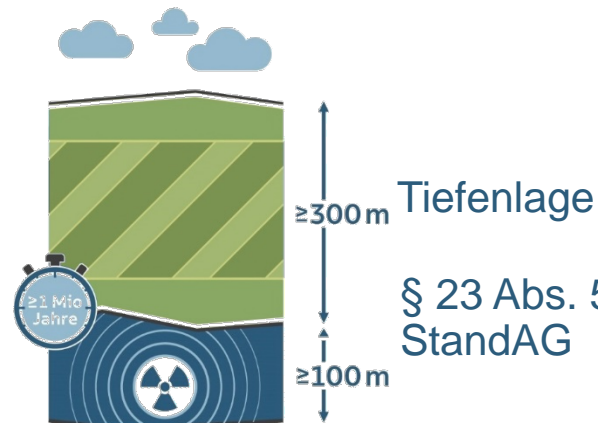
Mächtigkeit

§ 23 Abs. 5
Nr. 2
StandAG



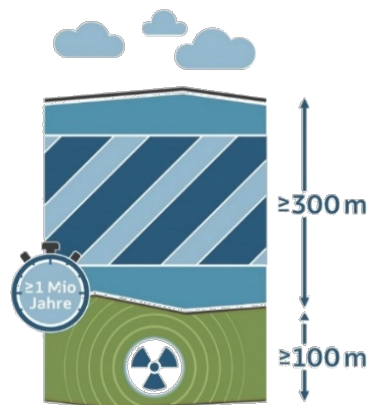
Opalinuston-Formation (Bayern)

- Auswertung des 3D-Modells GeoMol FWM
- Für die Bearbeitung wurden die Topfläche Rhaetium–Unterjura und Top Mittlerer Jura verwendet
- Das Modell bildet nicht die gesamte Verbreitung des Mittleren Jura in Bayern ab



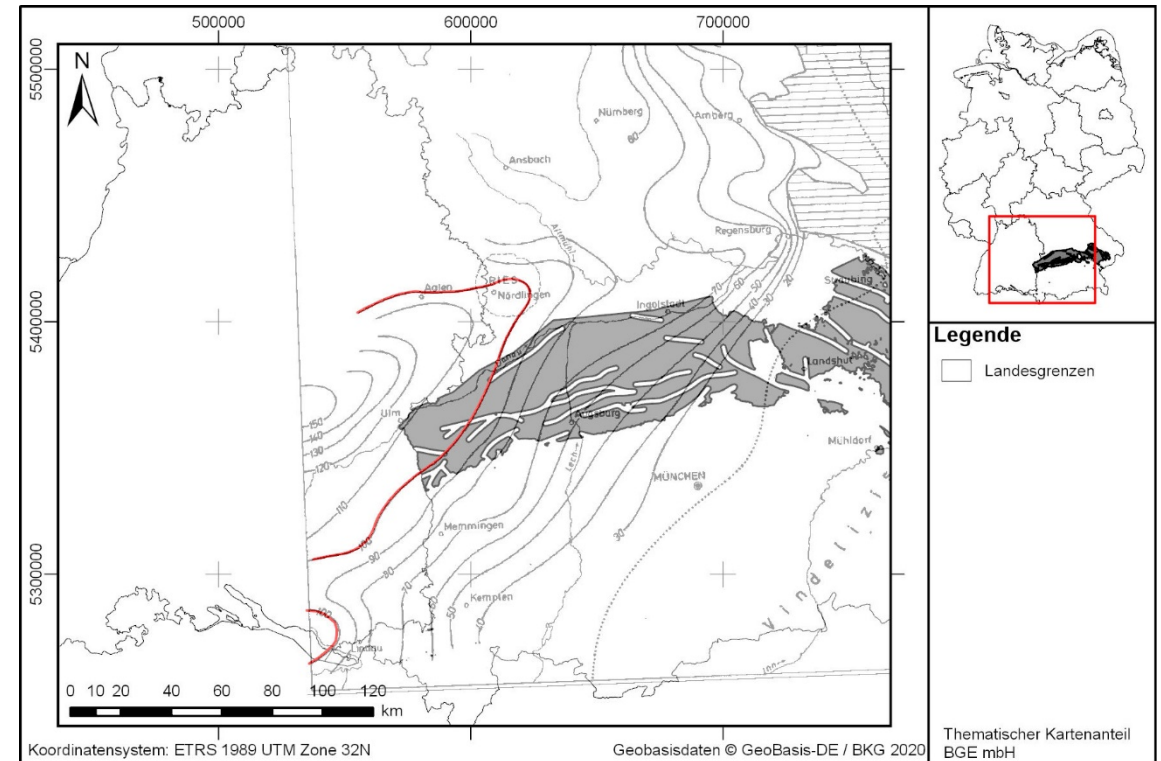
Opalinuston-Formation (Bayern)

- Mächtigkeitkarte der Opalinuston-Formation (Dogger α) wurde benutzt für:
 - Anwendung der Mindestanforderung Mächtigkeit
 - Abdeckung von Bereichen ohne 3D-Modell
- Plausibilitätsprüfung anhand von Bohrungen



Mächtigkeit

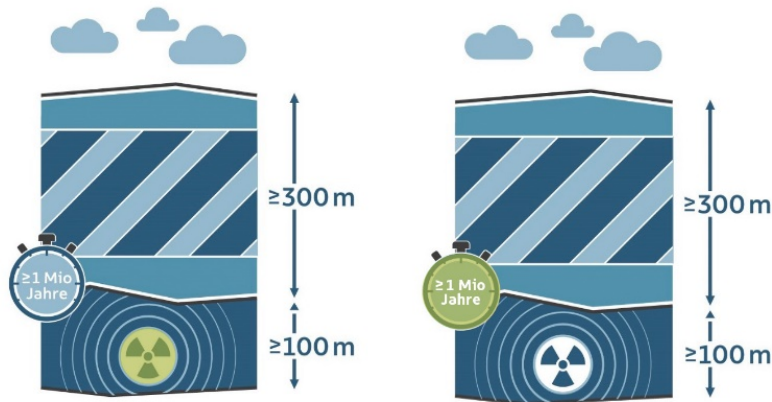
§ 23 Abs. 5
Nr. 2
StandAG



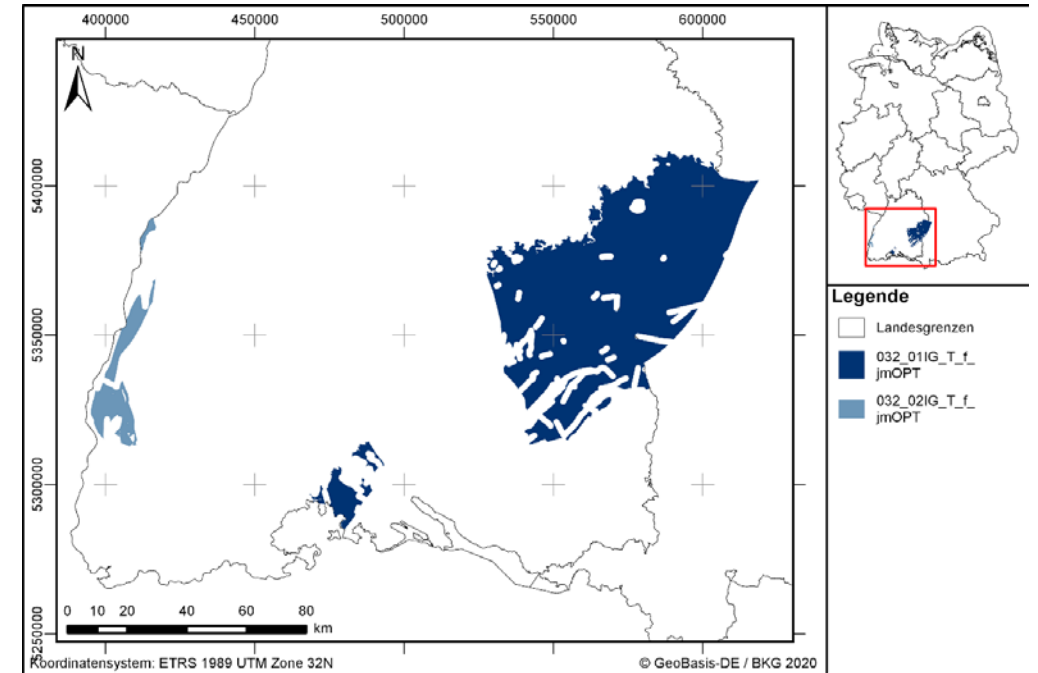
Mächtigkeitkarte der Opalinuston-Formation (Dogger α) aus Meyer & Schmidt-Kaler (1996)

Identifizierte Gebiete der Opalinuston-Formation

- Verschneiden mit den ausgeschlossenen Gebieten nach § 22 StandAG (Störungen, seismische Aktivität, Bohrungen)
- Prüfung auf Erfüllung des Flächenbedarfs 10 km² (§ 23 Abs. 5 Nr. 4 StandAG)
- Prüfung auf Erfüllung des Erhalts der Barrierewirkung (§ 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG)
- Ausweisen von identifizierten Gebieten



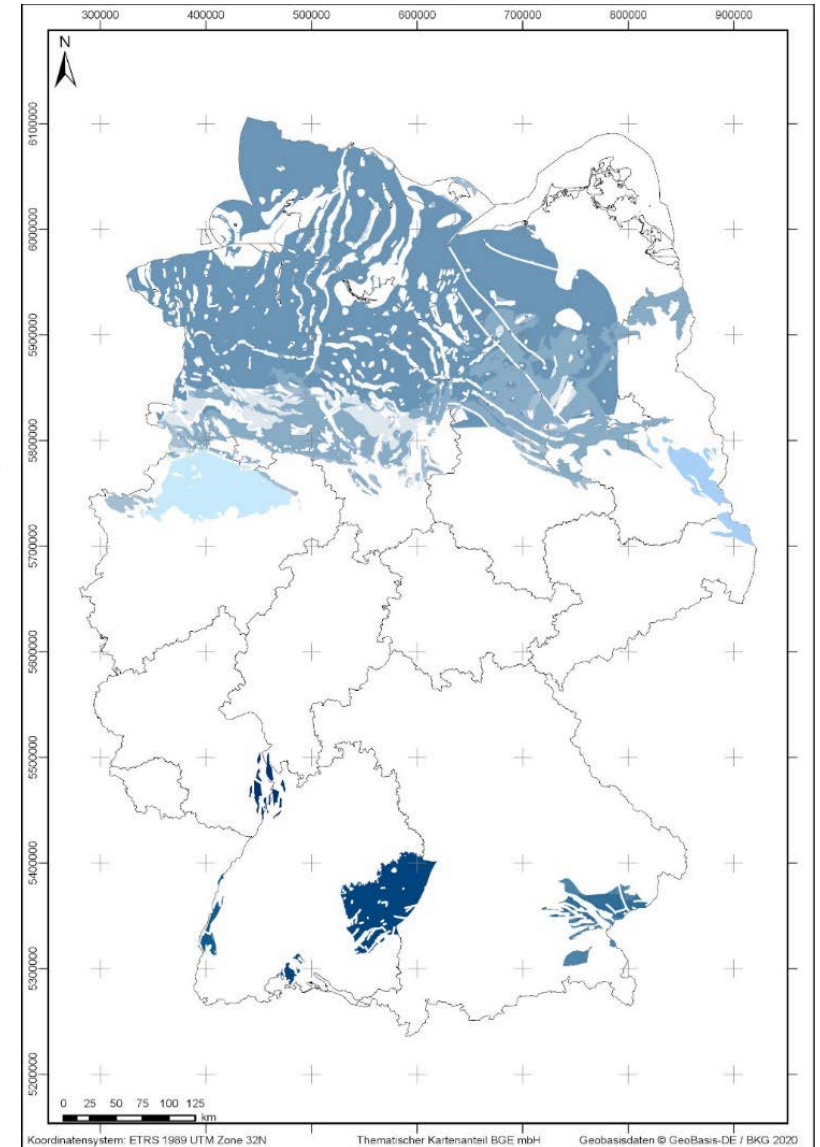
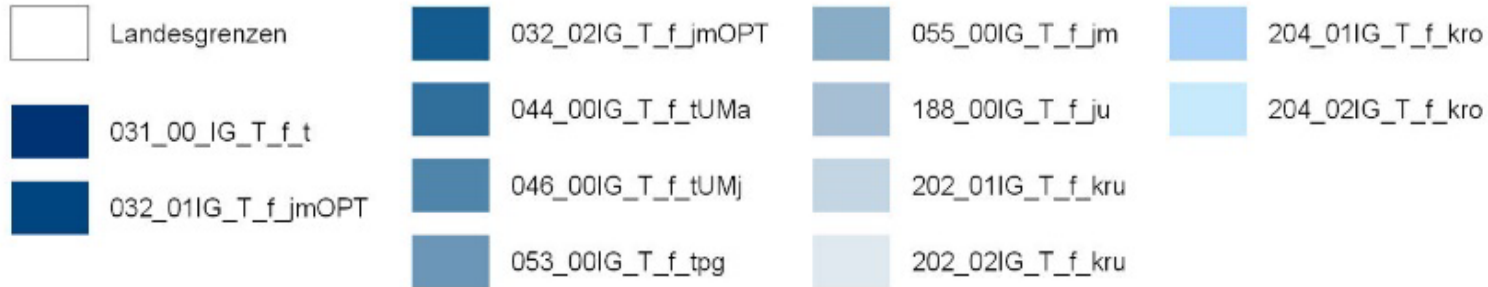
§ 23 Abs. 5
Nr. 4 u. Nr. 5
StandAG



ID Identifiziertes Gebiet	Mächtigkeit _{max} in m	Tiefe _{min} in m u. GOK	Tiefe _{max} in m u. GOK	Gesamtfläche in km ²
032_01IG_T_f_jmOPT	300	400	1 500	4241
032_02IG_T_f_jmOPT	600	400	1 500	325

Identifizierte Gebiete Tongestein

- 12 identifizierte Gebiete in Tongestein



Steinsalz in steiler Lagerung



Quelle: BGE

Steinsalz

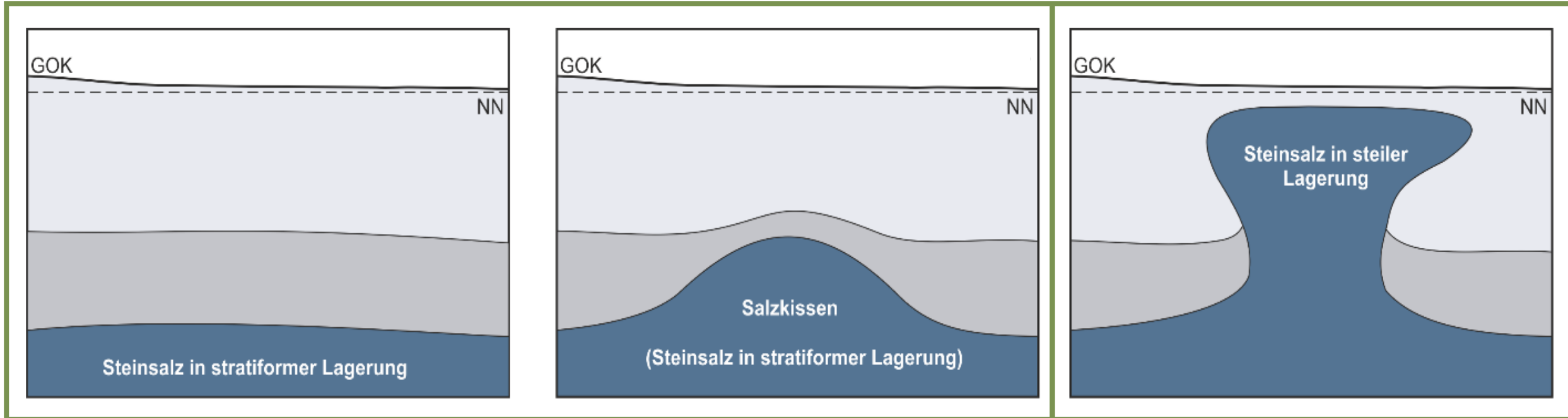
- Gesteinsbildender Hauptbestandteil ist das Mineral Halit
- Steinsalz tritt in stratiformer Lagerung auf, durch Prozesse der Salztektonik entstehen Salzstrukturen in steiler Lagerung (Salzstöcke)

Vorteile

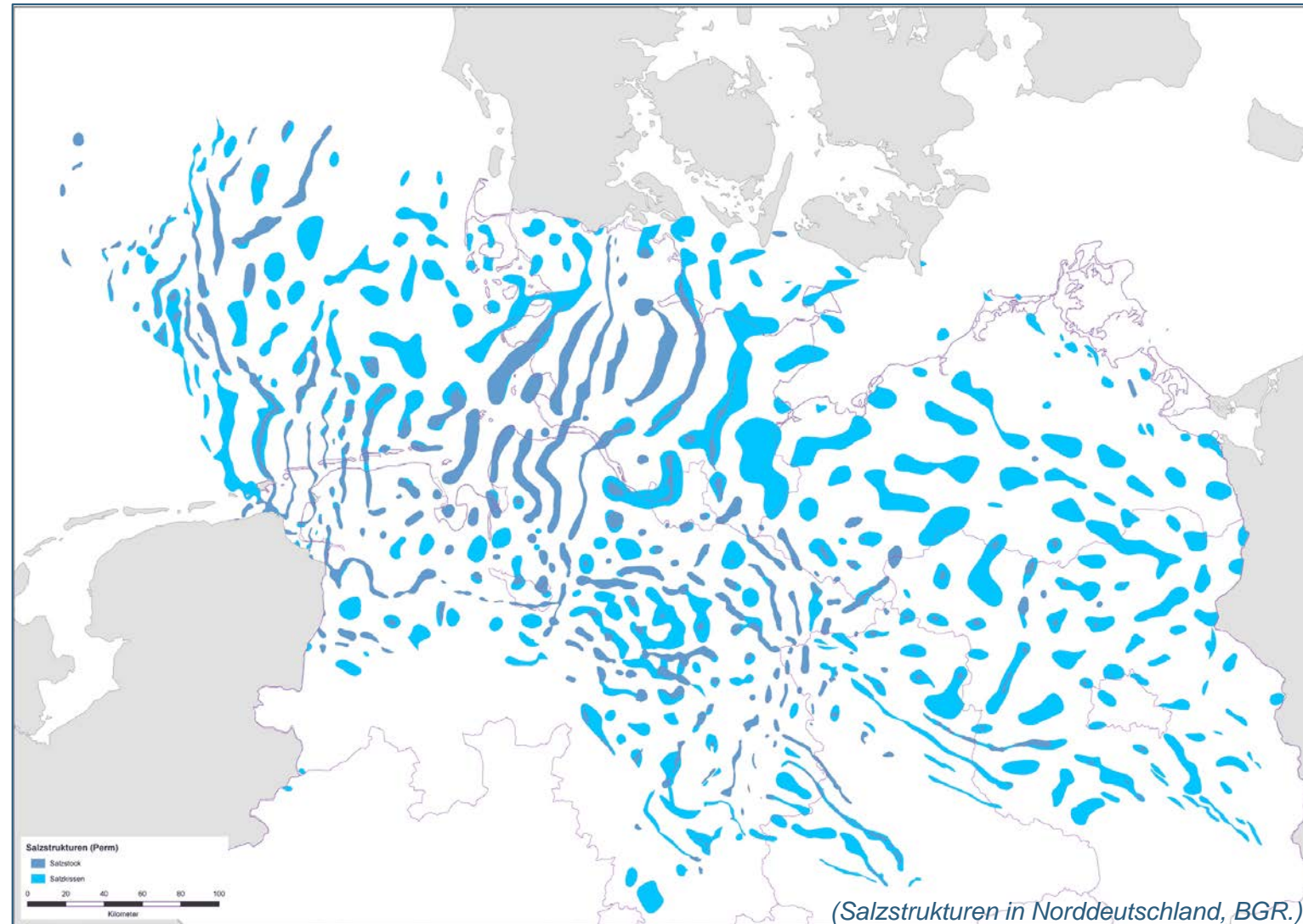
- Sehr geringe Durchlässigkeit
- Verhält sich unter Druck plastisch
- Hohe spezifische Wärmeleitfähigkeit
- Herstellung großer Hohlräume ohne speziellen Ausbau möglich

Nachteile

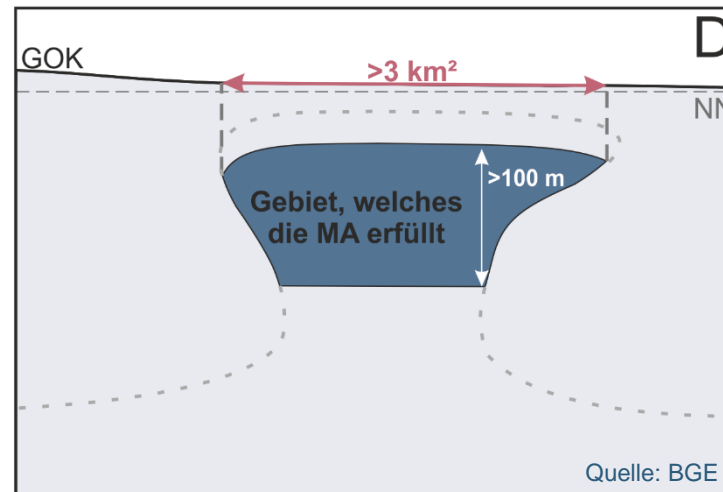
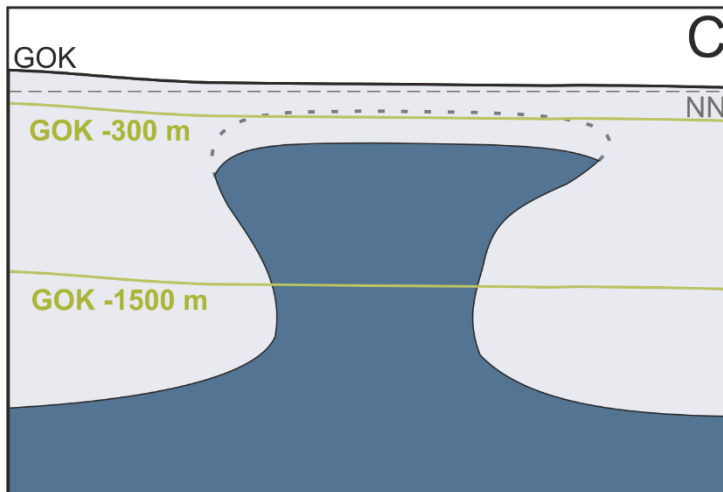
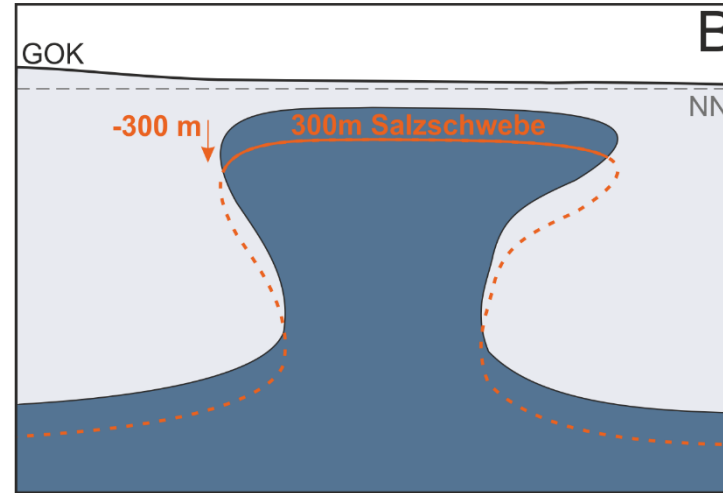
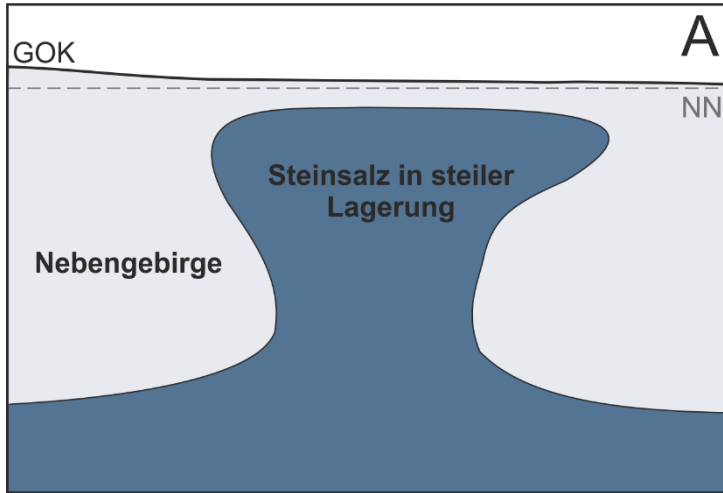
- Wasserlöslichkeit



Quelle: BGE



Anwendungsmethode: Steinsalz in steiler Lagerung



A: Hüllflächen der Salzstrukturen aus den geologischen 3D-Modellen der Bundes- und Landesbehörden

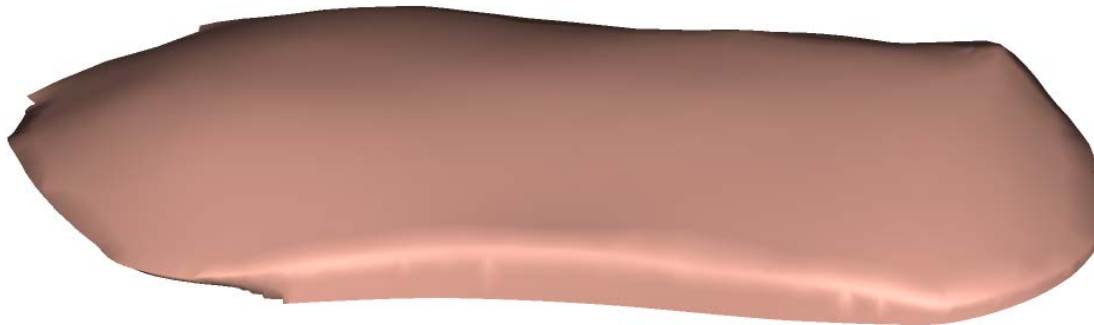
B: Absenken der Salzstrukturoberfläche um 300 m \rightarrow sicherstellen von 300 m Salzscheibe (§ 23 StandAG Abs. 5 Nr. 3)

C: Verschnitt der Salzstrukturen mit dem digitalen Geländemodell (GOK), abgesenkt um 300 und 1500 m \rightarrow prüfen, wo mind. 100 m Mächtigkeit vorhanden ist

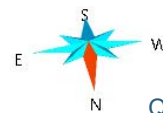
D: Verbleibende Gebiete erfüllen alle Mindestanforderungen

Beispiel Wahn: 024_00TG_029_00IG_S_s_z

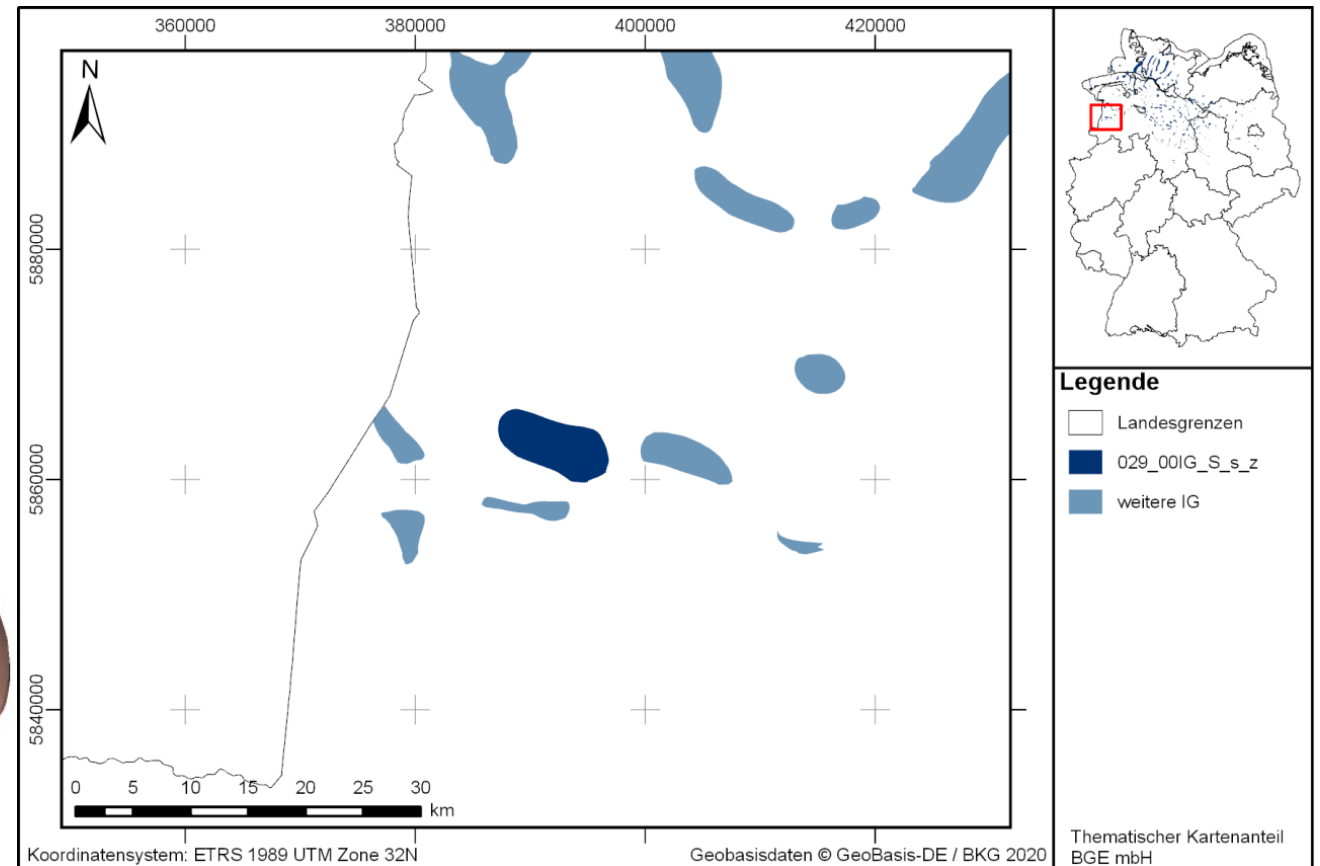
Charakteristika des identifizierten Gebietes: 029_00IG_S_s_z	
Wirtsgesteinstyp	Steinsalz in steiler Lagerung
Stratigraphie	Zechstein
Name der Struktur	Wahn
Bundesländer	Niedersachsen
Gebirgsdurchlässigkeit	$<10^{-10}$ m/s
Mächtigkeiten	940 m
Teufenlage der Struktur	560-1500 m u. GOK
Gesamtfläche	39 km ²
Barriereintegrität	erfüllt



0 2000 4000
Horizontal Length (m)

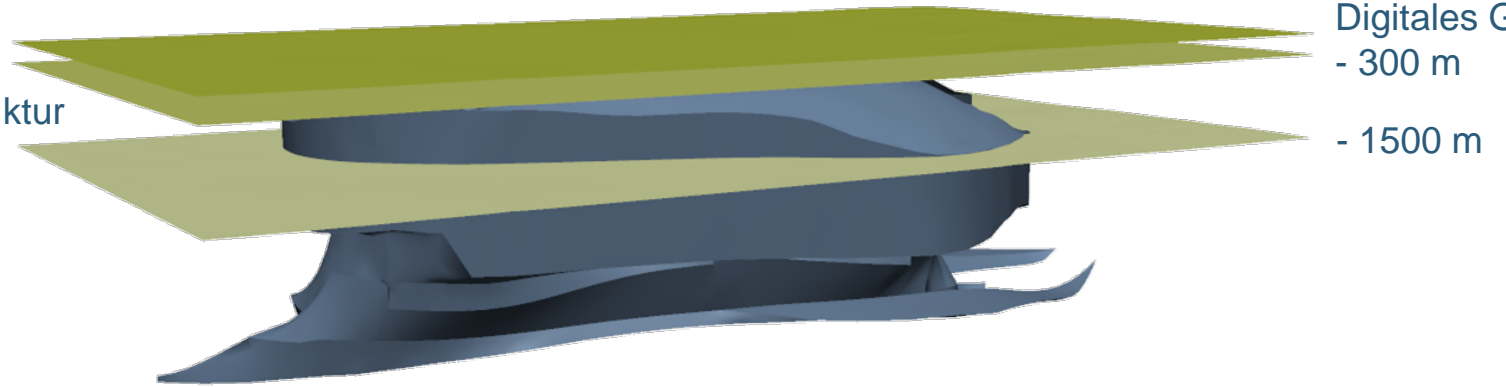


Quelle: BGE

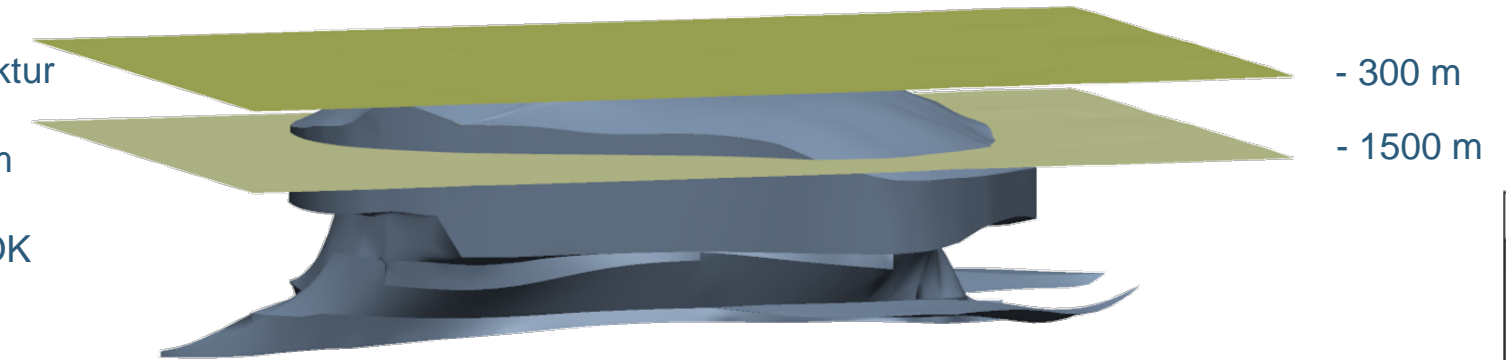


Bearbeitung der Mindestanforderungen in 3D

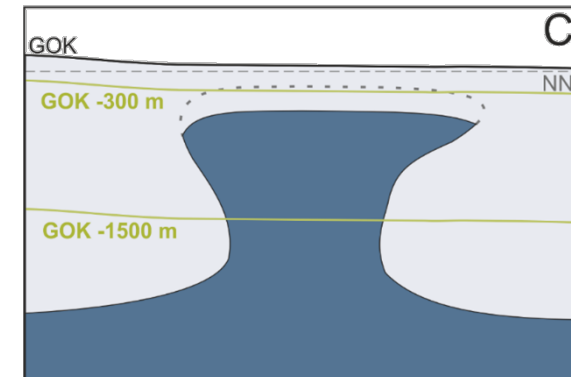
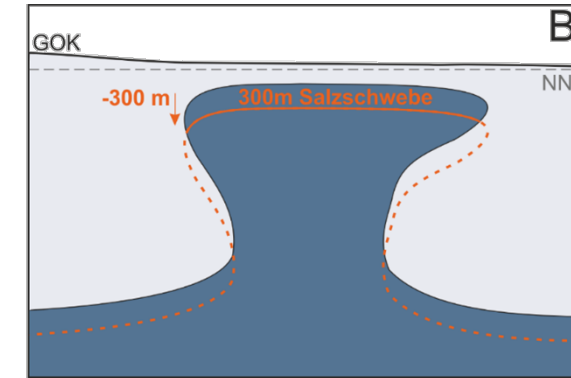
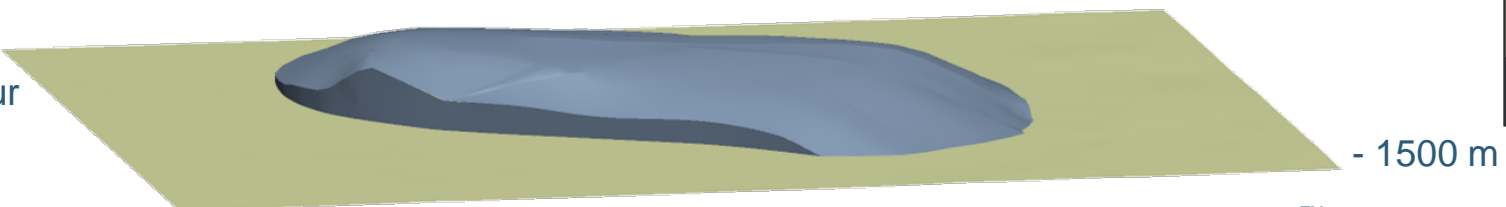
- 3D-Modell der Salzstruktur
Wahn unverändert aus
Datenlieferung



- Oberfläche der Salzstruktur
um 300m abgesenkt →
Sicherstellung der 300 m
Salzschwebe
- Teufenlage 300 m u. GOK
geprüft

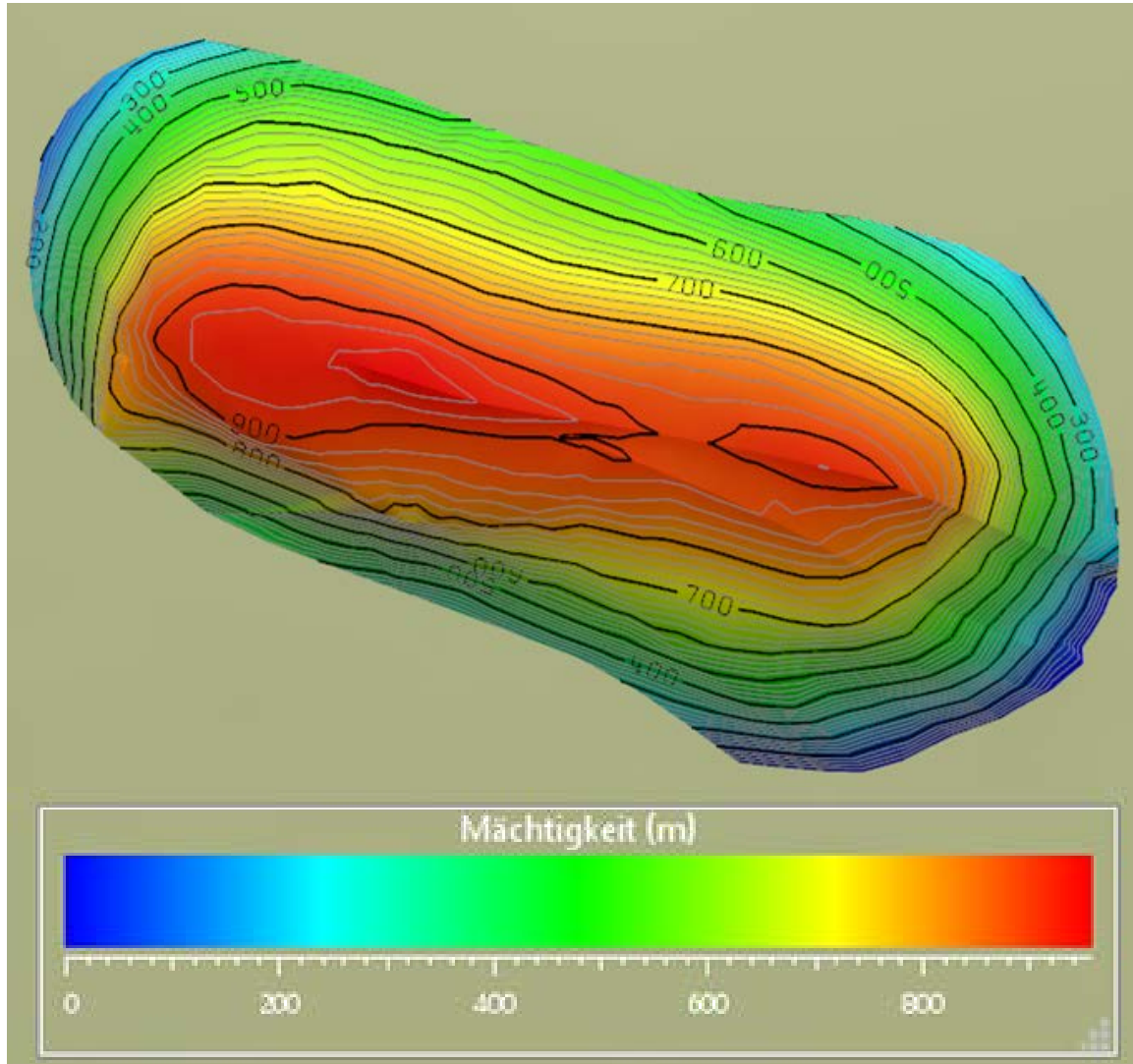


- Bereiche der Salzstruktur
tiefer 1500 m u. GOK
entfernt

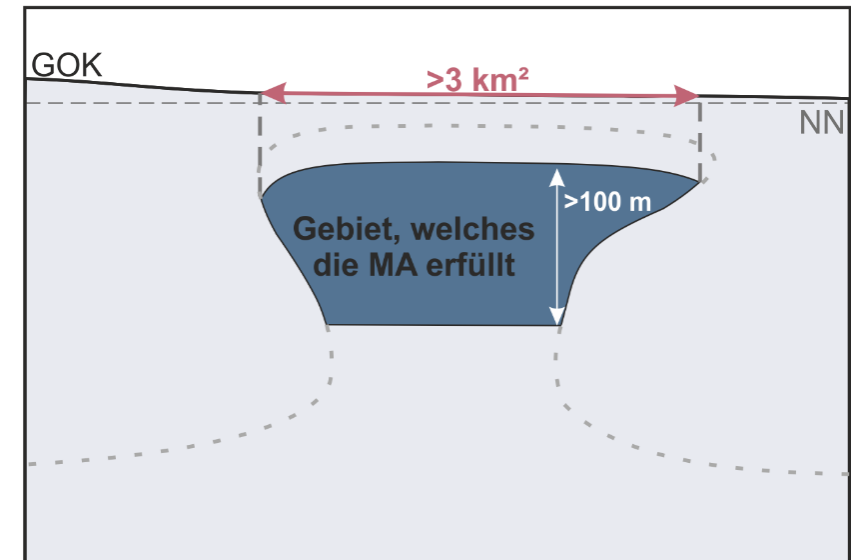


Quelle: BGE

Bearbeitung der Mindestanforderungen in 3D



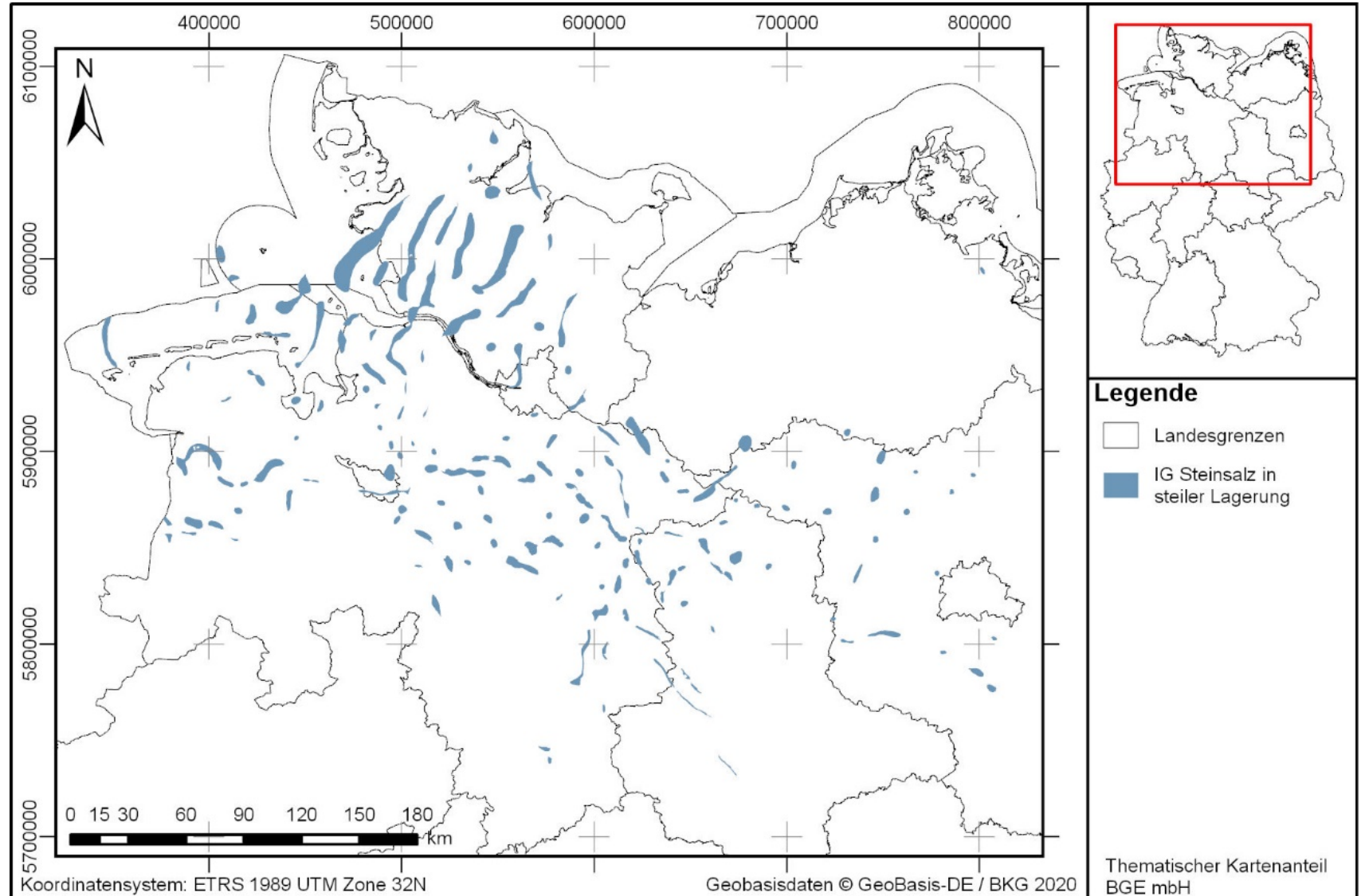
- Prüfung welche Bereiche mind. 100 m mächtig sind und genügend Fläche für ein Endlager vorhanden ist (3 km²)



Quelle: BGE

Identifizierte Gebiete Steinsalz in steiler Lagerung

- In Deutschland wurden insgesamt 139 identifizierte Gebiete für Steinsalz in steiler Lagerung ermittelt



Kristallines Wirtsgestein



Quelle: BGE

Kristallines Wirtsgestein

- Plutonite entsprechend der Klassifikation nach Streckeisen
- Hochgradig regionalmetamorphe Gesteine (Amphibolit-, Eklogit- und Granulit- Fazies; Gneise und Migmatite)

Vorteile

- Besonders hohe Festigkeit und Stabilität
- Geringe Temperaturempfindlichkeit
- Geringes Lösungsverhalten
- Im ungeklüfteten Zustand geringe Gebirgsdurchlässigkeit

Nachteile

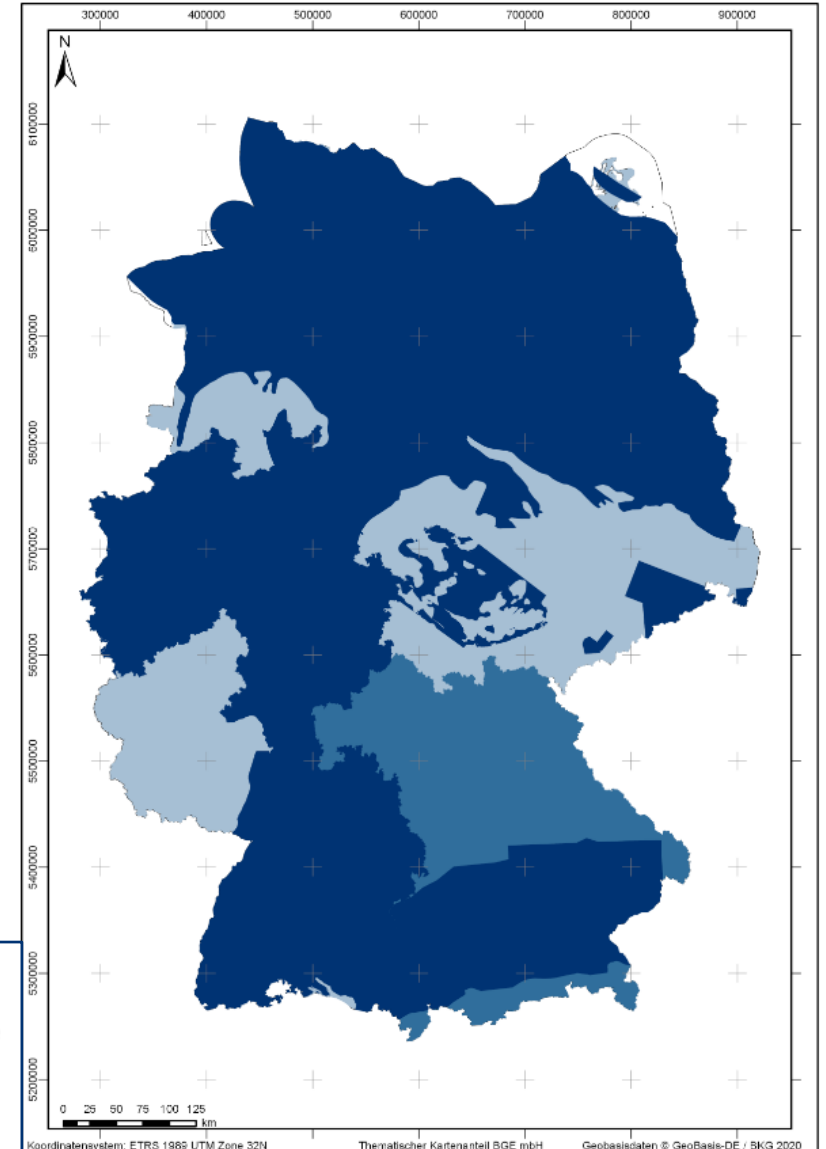
- Im geklüfteten Zustand hohe Gebirgsdurchlässigkeit

Welche Daten wurden verwendet?

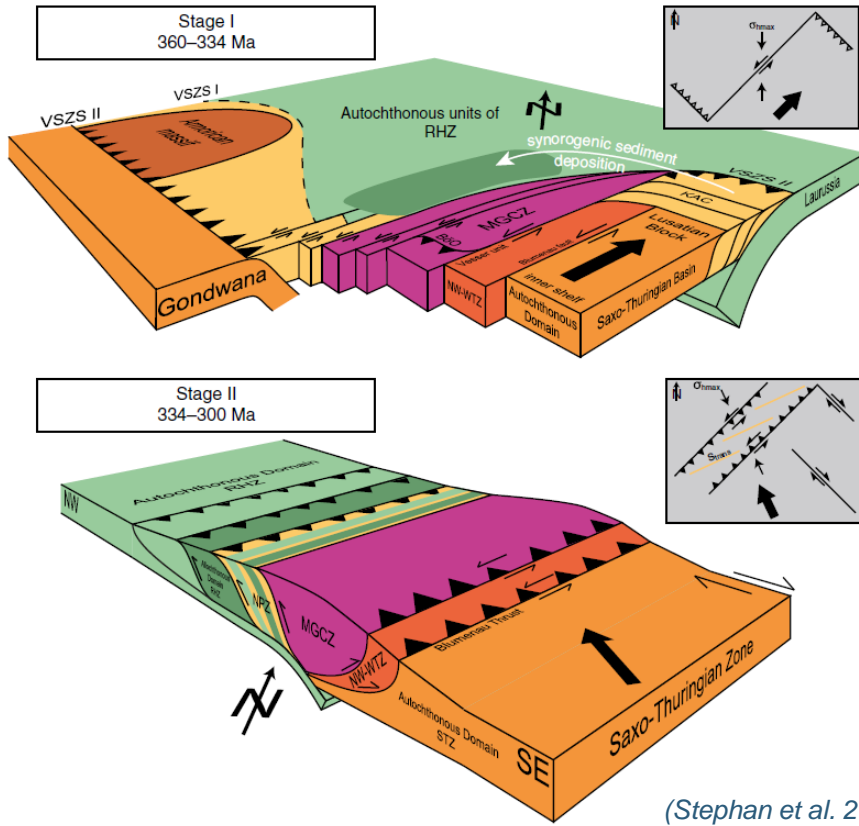
- 3D-Modelle mit Oberfläche des kristallinen (und sedimentären) Grundgebirges (*Datenlieferung*) und Southern Permian Basin Atlas
- Karten zur Tiefenlage der Oberfläche des Grundgebirges
- Digitale Schichtenverzeichnisse von Tiefbohrungen: Stratigraphie und Petrographie (*Datenlieferung*)
- Petrographie nach GÜK250 (*Datenlieferung BGR*)
- Regionale geologische Karten (*Datenlieferung*)
- Literatur (*Eigenrecherche*)

Legende

- | | |
|---|--|
|  3D-Modelle |  Reinhold Kristallin-Oberfläche |
|  GIS-Karte Grundgebirge Bayern |  Landesgrenzen |



Großstrukturelle Einheiten der variszischen Gebirgsbildung



Renoherzynikum (RHE)

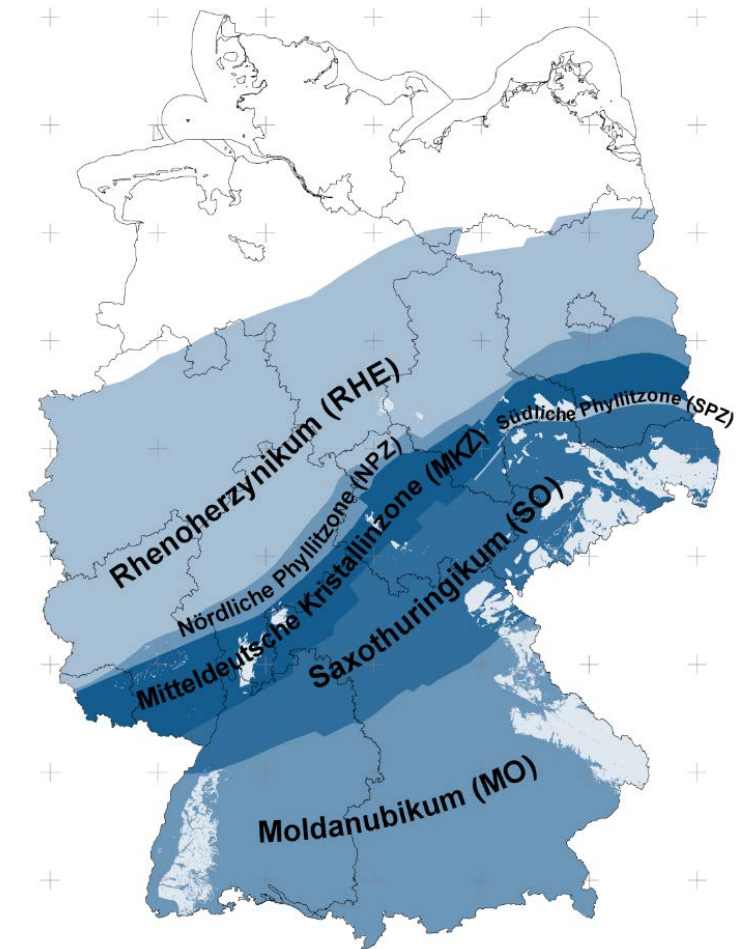
Nördliche Phyllitzzone (NPZ)

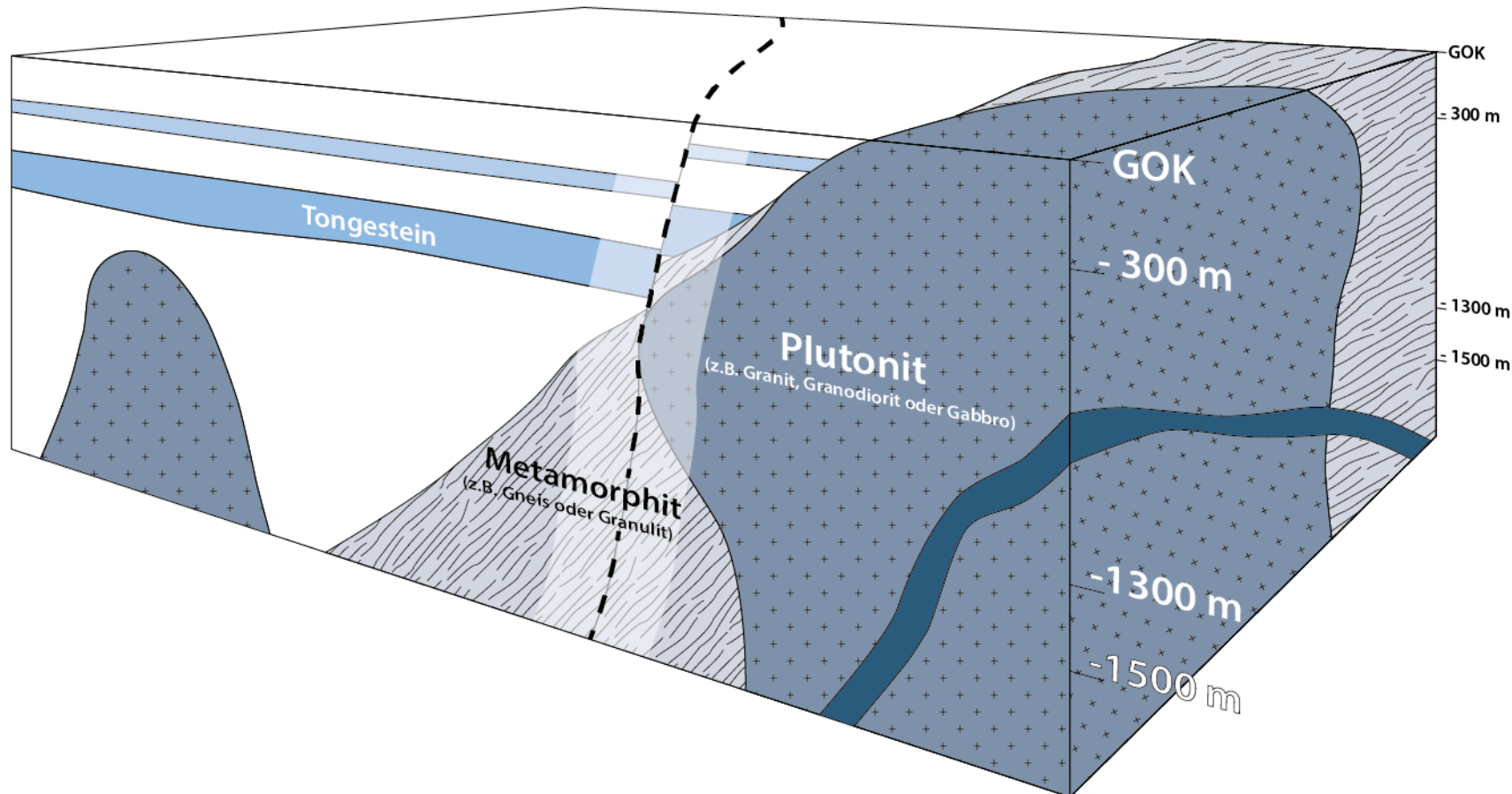
Mitteldeutsche Kristallizone (MKZ)

Südliche Phyllitzzone (SPZ)

Saxothuringikum (SO)

Moldanubikum (MO)

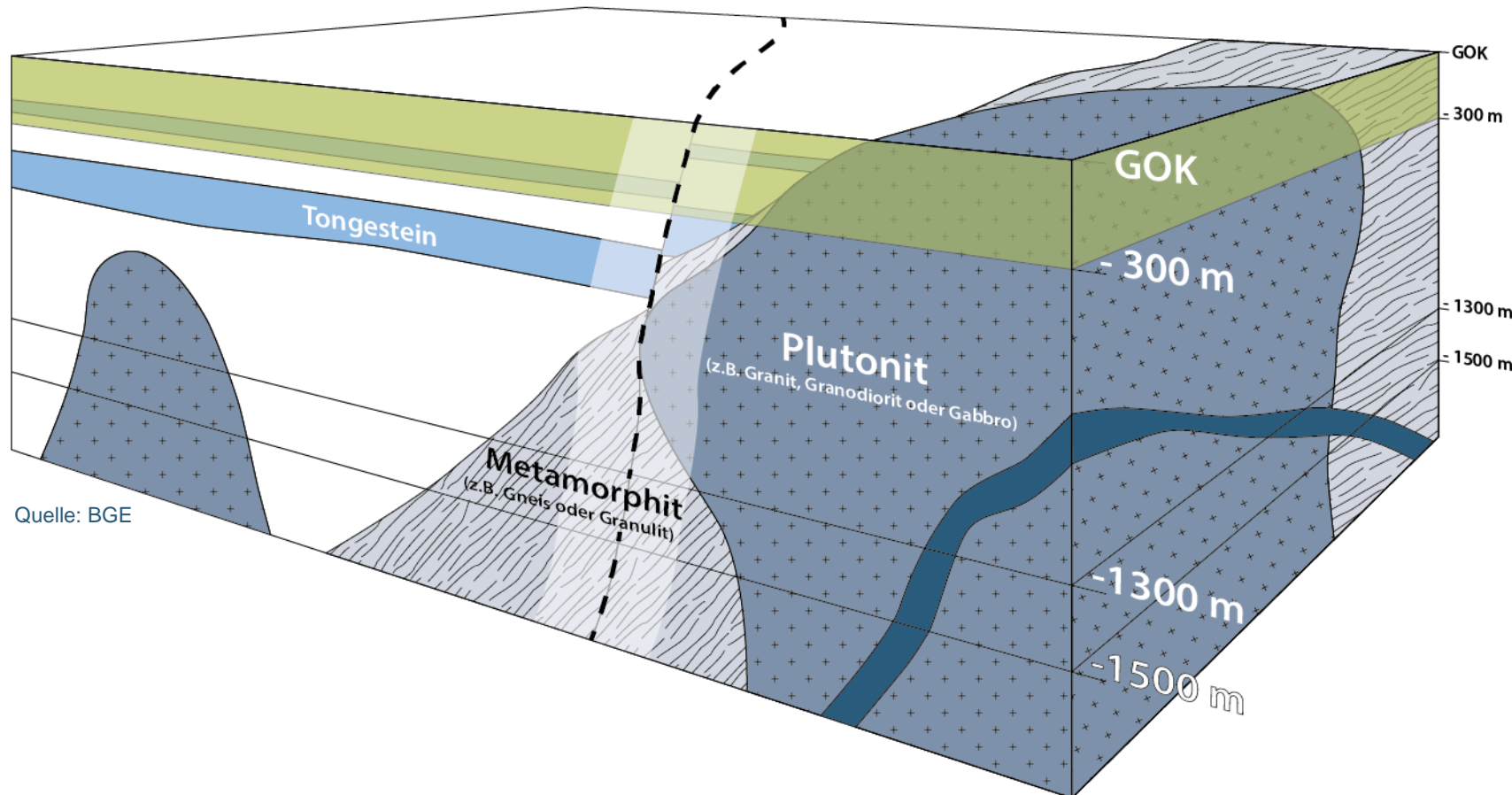




Kristallines Grundgebirge
(Plutonite und hochgradig
regionalmetamorphe
Gesteine)

§ 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG

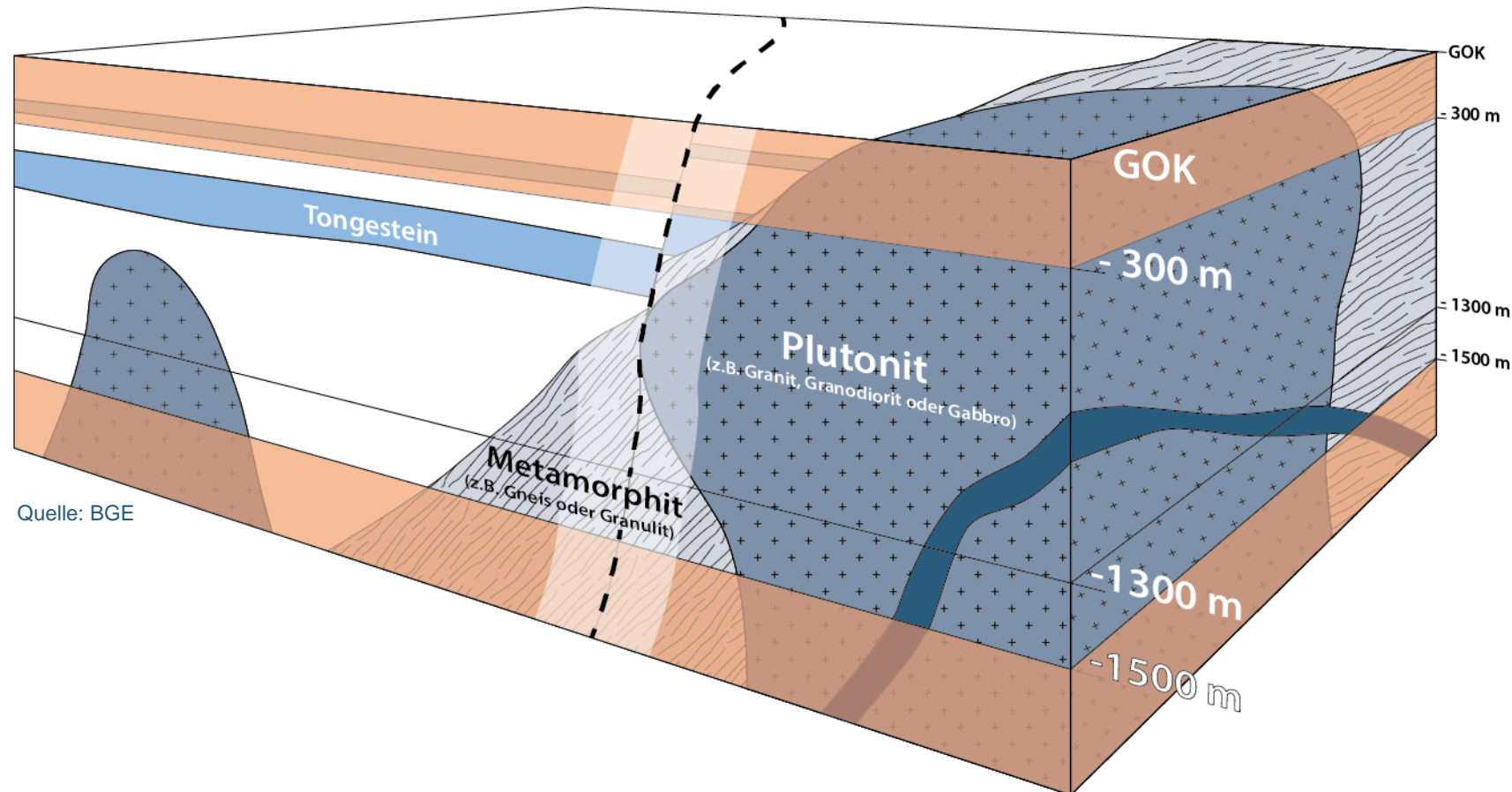
Anwendungsmethode: Kristallines Wirtsgestein



§ 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG

**mind. 300 m unter
Geländeoberkante (GOK)**

Anwendungsmethode: Kristallines Wirtsgestein



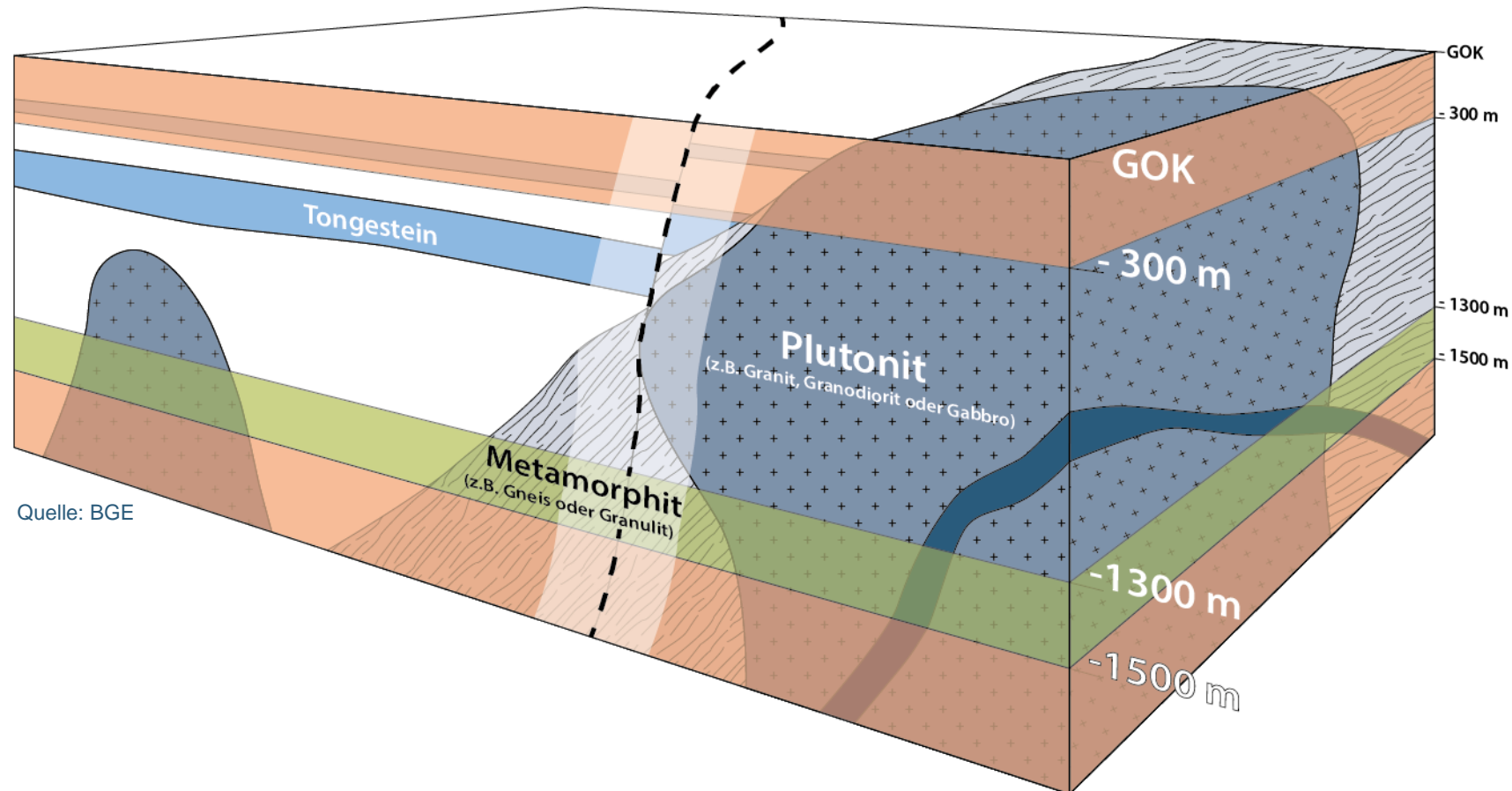
Quelle: BGE

§ 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG

und

**max. Suchteufe 1500 m u.
GOK**

Anwendungsmethode: Kristallines Wirtsgestein

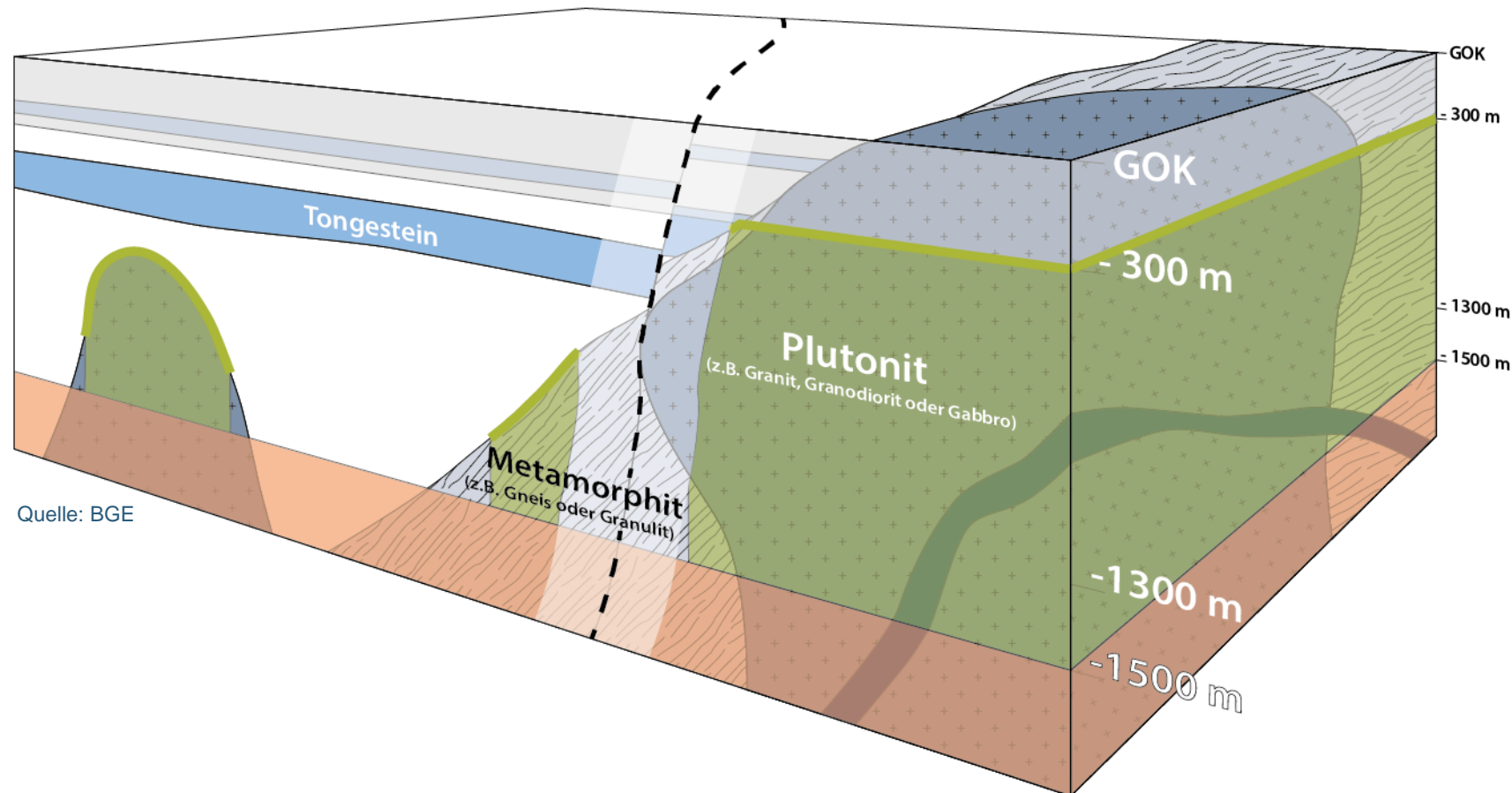


Quelle: BGE

Mindestmächtigkeit von 200 m
in kristallinem Wirtsgestein

Sicherheitsabstand 100 m horizontal
(DBE-TEC 2016) sowie vertikal um
den Einlagerungsbereich

Anwendungsmethode: Kristallines Wirtsgestein

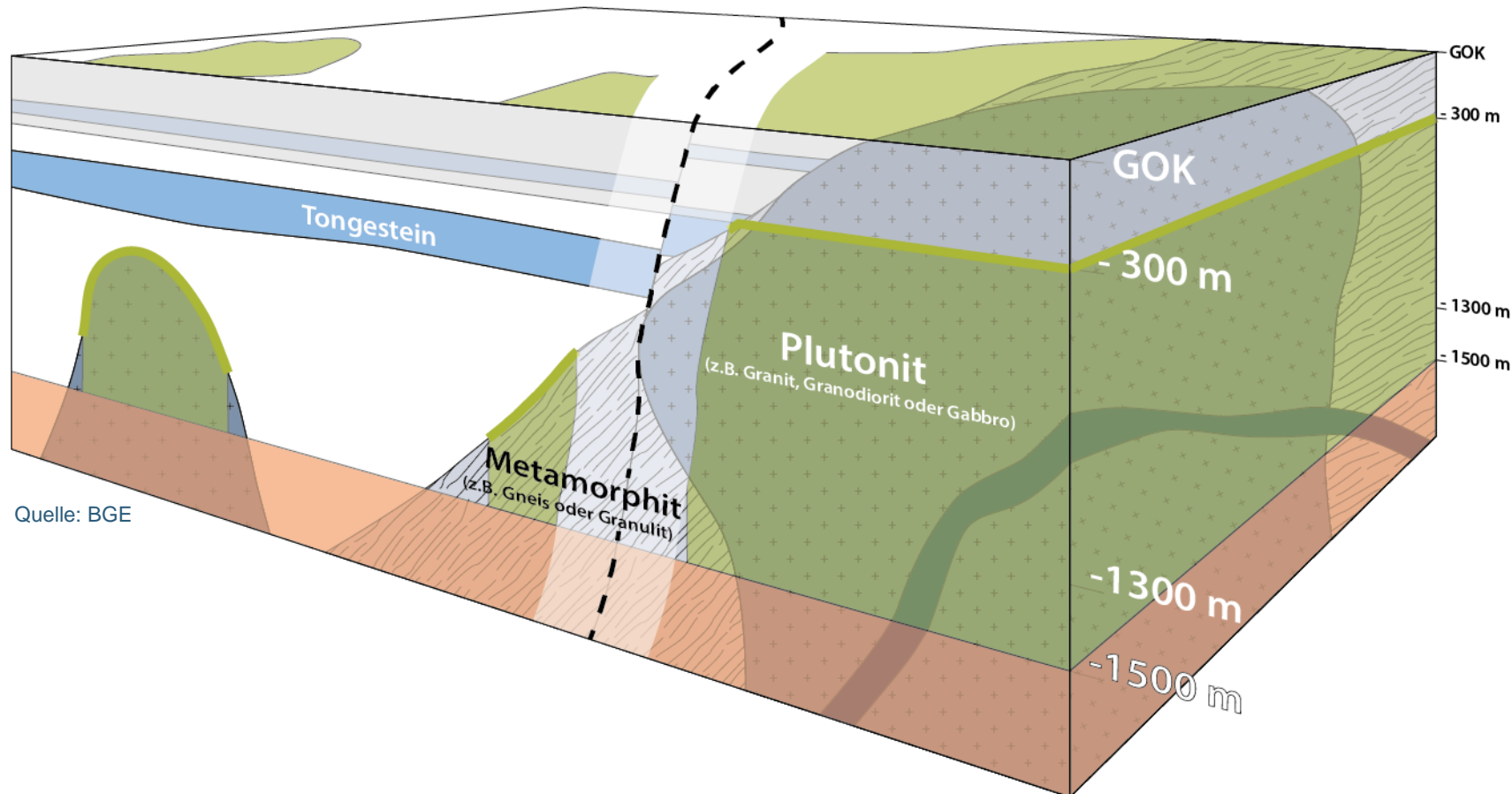


Quelle: BGE

**Gesteinskörper mit kristallinem
Wirtsgestein**

nach § 23 Abs. 5 StandAG

Vorgehen Mindestanforderungen Kristallin

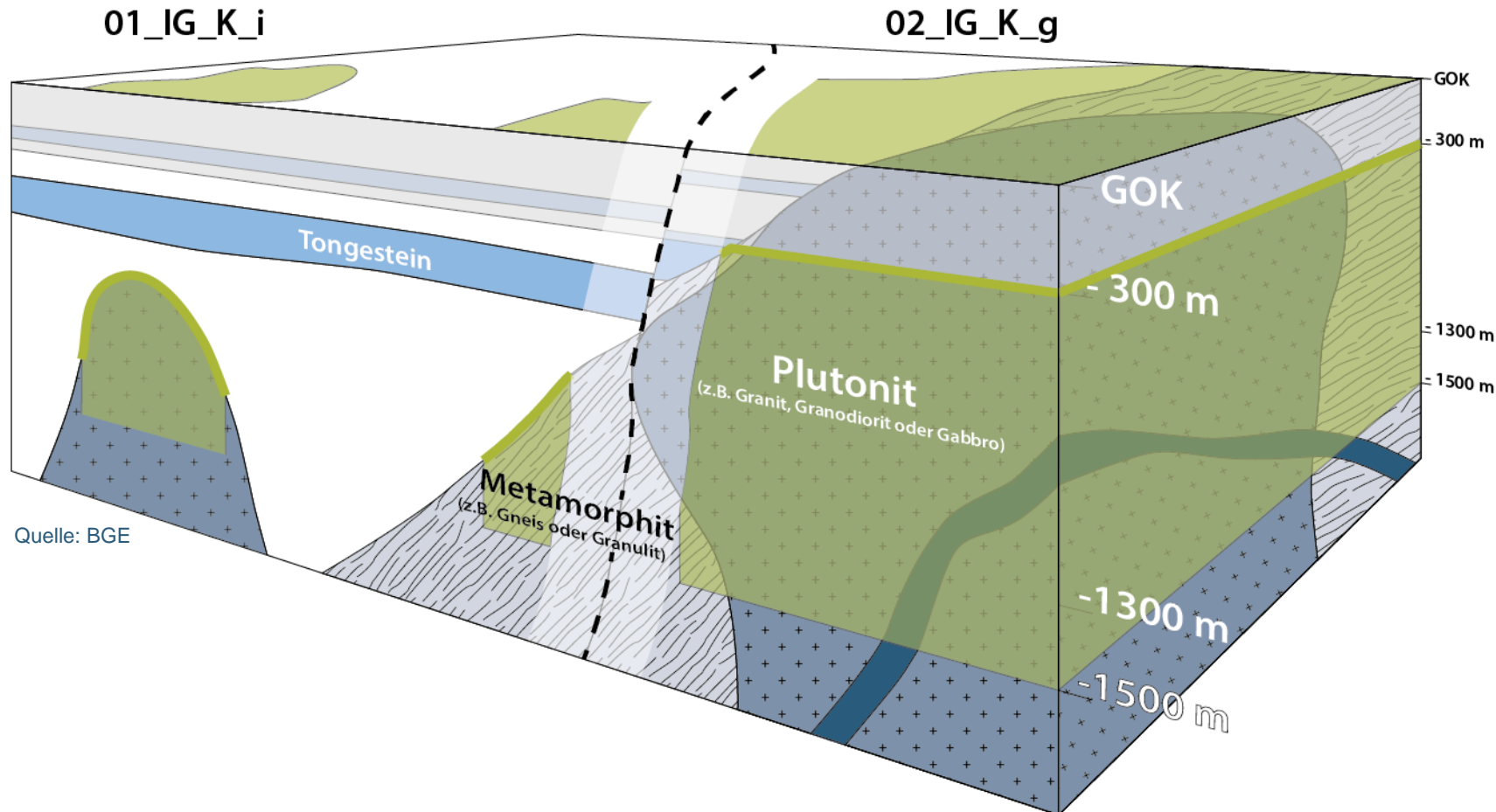


Quelle: BGE

Flächenprüfung

nach § 23 Abs. 5 Nr. 4 StandAG

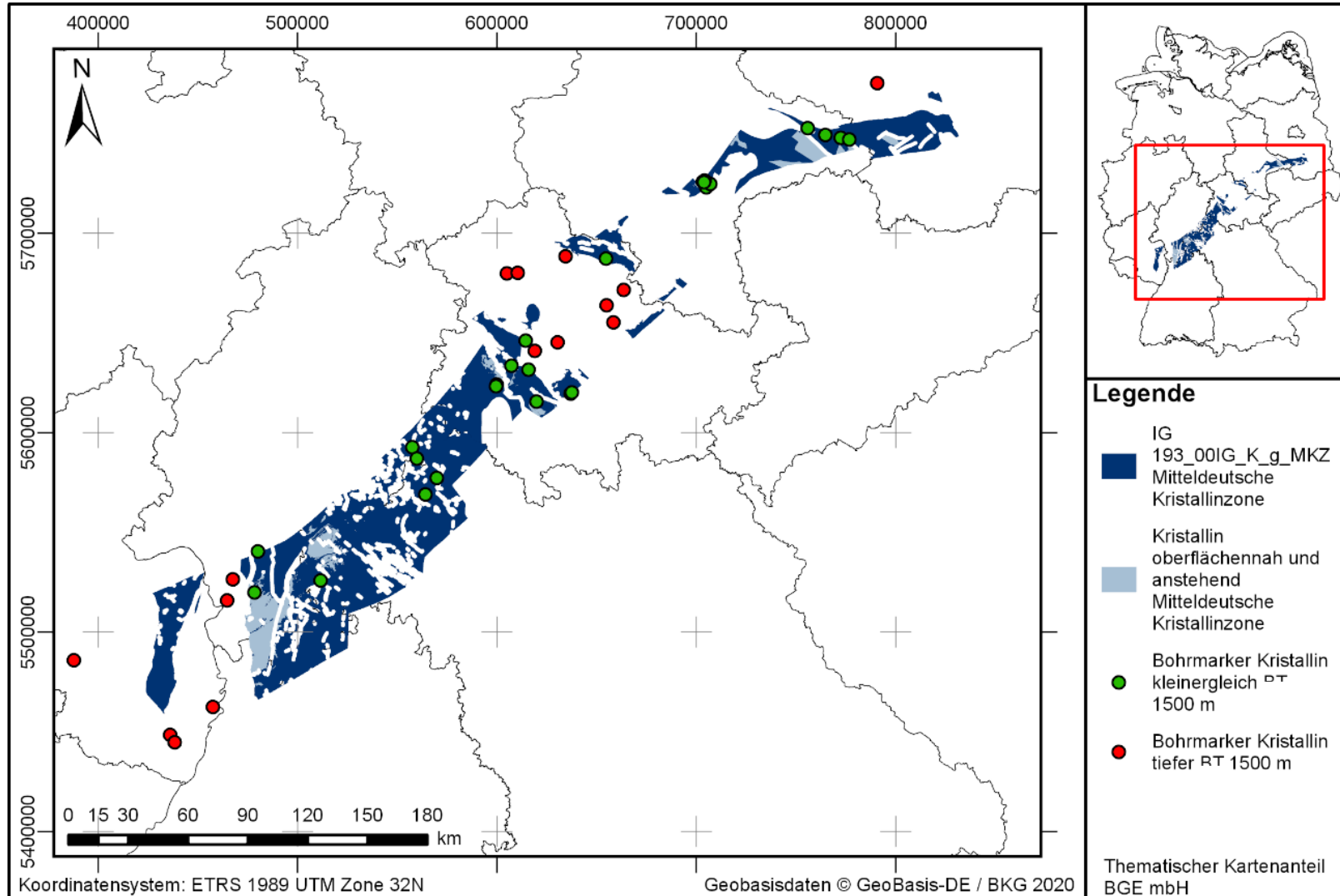
Flächenbedarf für kristallines
Wirtsgestein 6 km²



**Identifizierte Gebiete mit
kristallinem Wirtsgestein**

nach § 23 Abs. 5 StandAG

Ergebnis identifiziertes Gebiet 193_00IG_K_g_MKZ




IG 193_00IG_K_g_MKZ „Mitteldeutsche Kristallinzone“

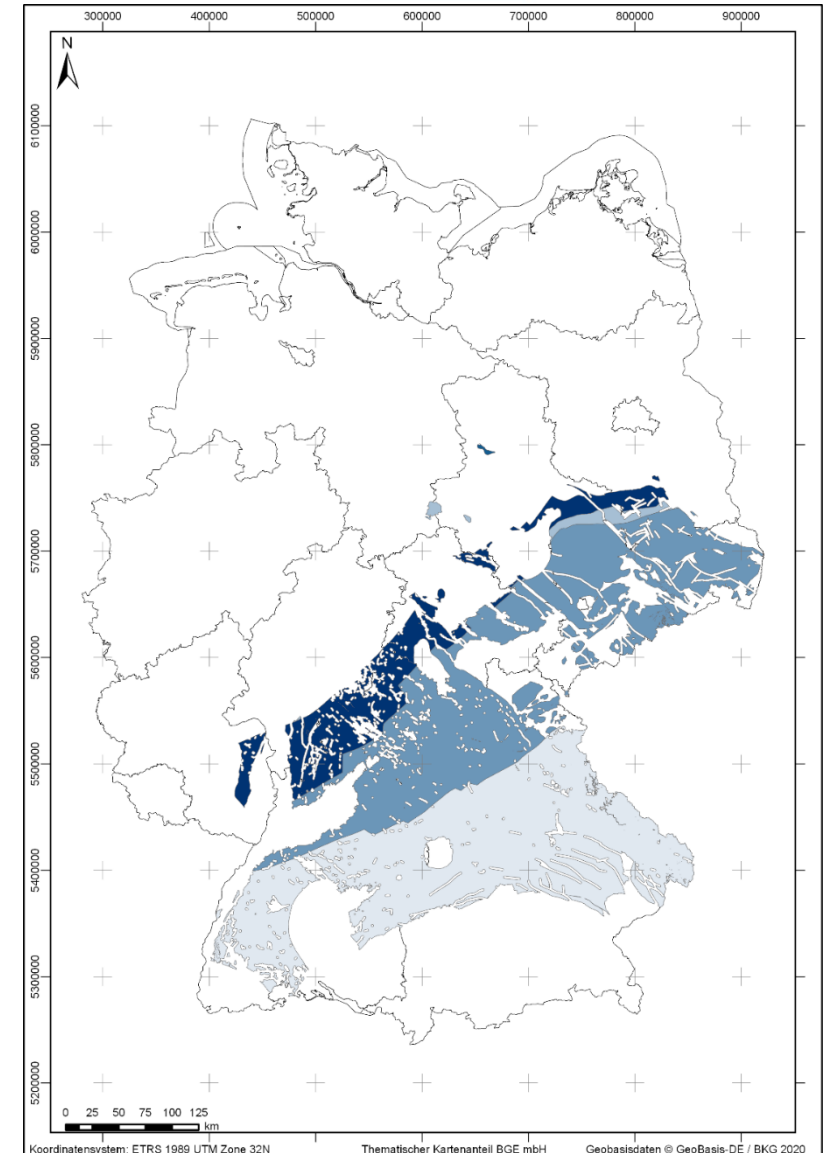
- Eingrenzung auf kristalline Wirtsgesteine zwischen Teufen > 300 m bis < 1500 m u. GOK
- Kristalline Wirtsgesteine im Saar-Nahe-Becken, Oberrheingraben und Thüringer Becken liegen tiefer als Suchteufe von 1500 m u. GOK
- Übereinstimmung mit gefilterten Bohrmarkern von Tiefbohrungen

Identifizierte Gebiete Kristallines Wirtsgestein

ID Identifiziertes Gebiet	Einheit	Teufe _{min} Oberfläche in m u. GOK	Gesamtfläche in km ²
193_00IG_K_g_MKZ	Mitteldeutsche Kristallinzone	300	10066
194_00IG_K_g_SO	Saxothuringikum	300	32655
195_00IG_K_g_MO	Moldanubikum	300	36836
198_01IG_K_g_RHE	Renoherzynikum	300	175
198_02IG_K_i_RHE	Renoherzynikum	580*	52
199_00IG_K_g_NPZ	Nördliche Phyllitzzone	300	10
200_00IG_K_g_SPZ	Südliche Phyllitzzone	300	991

Legende

	Landesgrenzen		194_00IG_K_g_SO		198_00IG_K_g_RHE		200_00IG_K_g_SPZ
	193_00IG_K_g_MKZ		195_00IG_K_g_MO		199_00IG_K_g_NPZ		



Online-Auftaktveranstaltung zur Fachkonferenz Teilgebiete | 17.10.2020

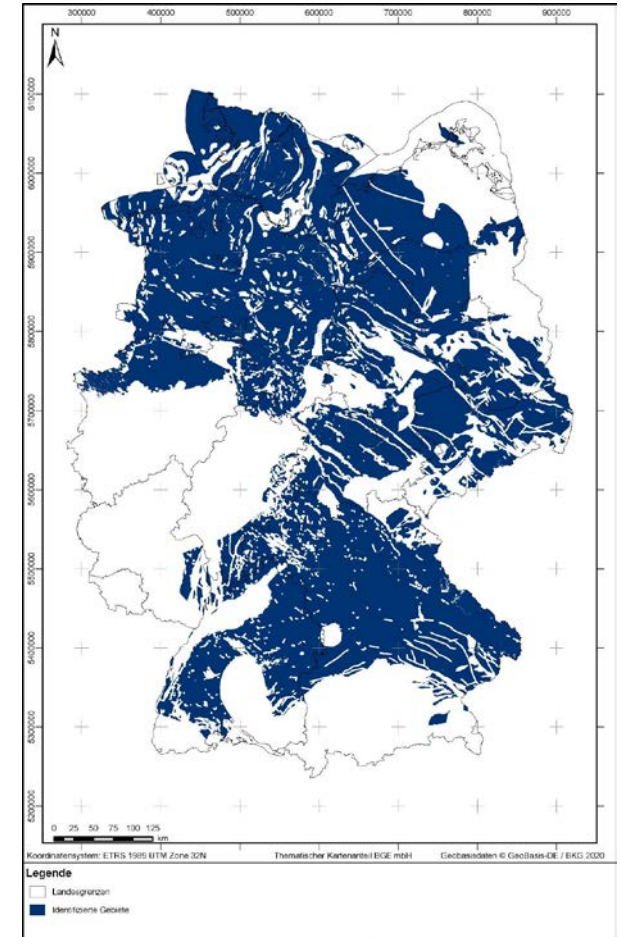
GZ: SG01101/19-2/1-2020#1 | Objekt-ID: 834540

Zusammenfassung

Ergebnis der Anwendung der Mindestanforderung

- Im Ergebnis der Anwendung der Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG wurden im Zuge von § 13 StandAG insgesamt **181** identifizierte Gebiete ermittelt

Wirtsgestein	Anzahl identifizierter Gebiete	Fläche (km ²)
Steinsalz, davon		
• stratiforme Lagerung	23	32.104
• steile Lagerung	139	4.486
Steinsalz gesamt	162	36.590
Tongestein	12	131.094
kristallines Wirtsgestein	7	80.786
Identifizierte Gebiete gesamt:	181	248.470





Kontakt:

Bundesgesellschaft
für Endlagerung mbH (BGE)
Eschenstr. 55,
31224 Peine

T +49 (0) 5171 543 9000

dialog@bge.de

www.bge.de

www.einblicke.de

- Bombien et al. (2012)
- BT-Drs. 18/11398
- Diepolder et al. (2011)
- Doornenbal & Stevenson (2010)
- Dorsch et al. (2004)
- Geyer et al. (2011)
- Hasdemir et al. 2013
- Heunisch et al. (2017)
- Hoth et al. (2007)
- Hudec et al. (2007).
- Meyer & Schmidt-Kaler (1996)
- Pamer (2007, 2016)
- Reinhold (2005)
- Reinhold et al. (2013)
- Reinhold et al. (2014)
- Reinhold et al. (2016)
- Standortauswahlgesetz (StandAG, 2017)
- Stephan et al. (2016)
- Villinger et al. (2016)
- von Goerne et al. (2016)
- Zeh & Will (2010)

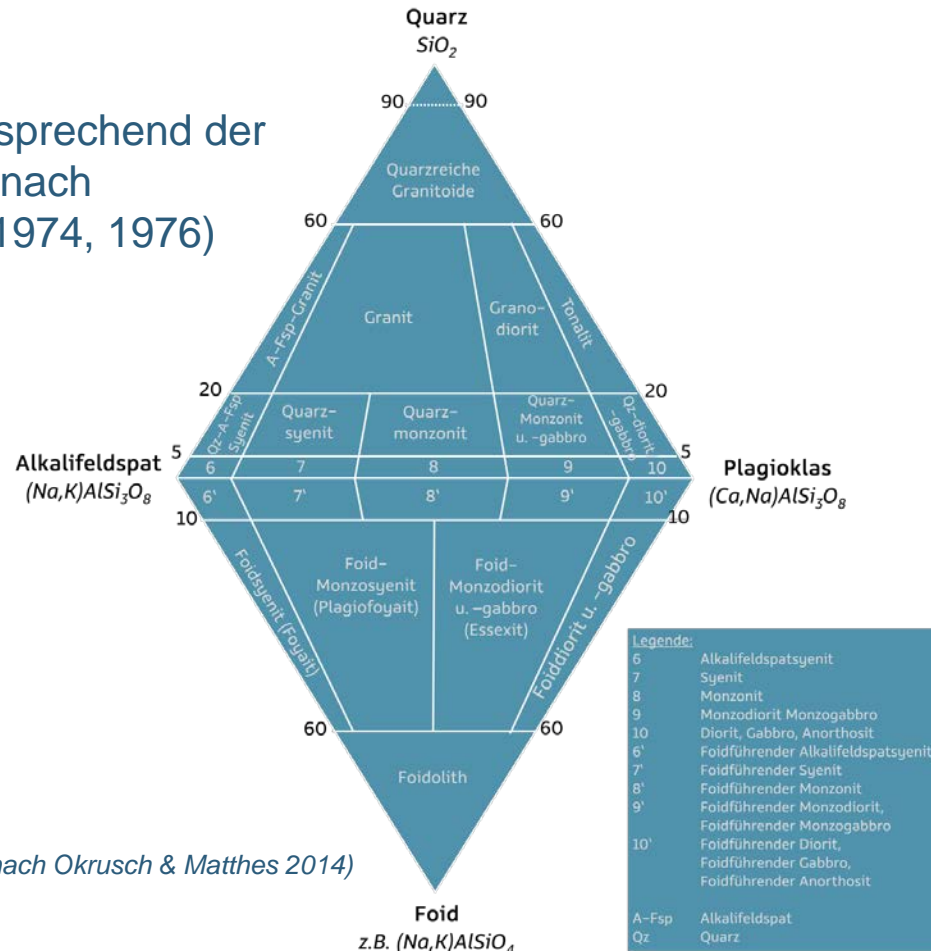


BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

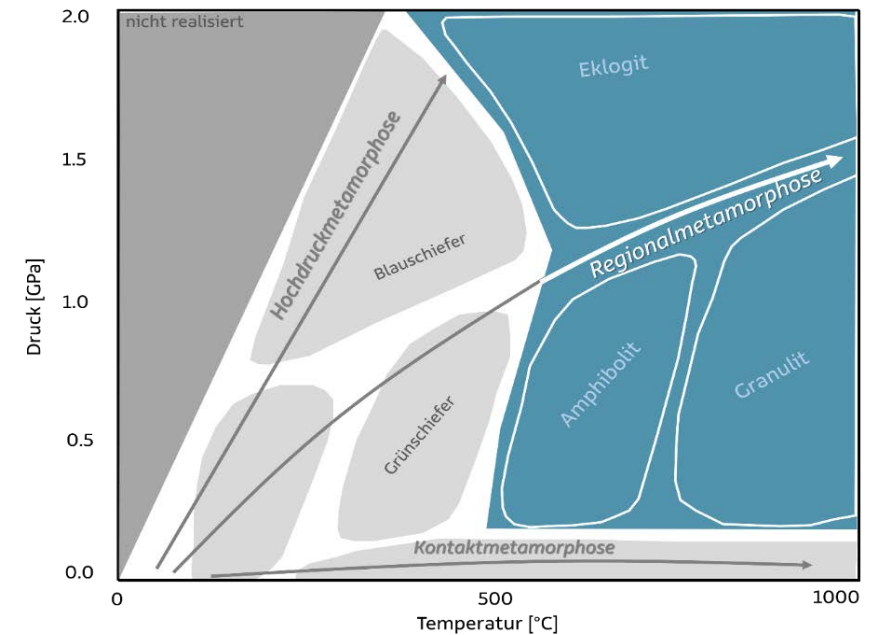
Backup

Welche kristallinen Gesteine kommen in Betracht?

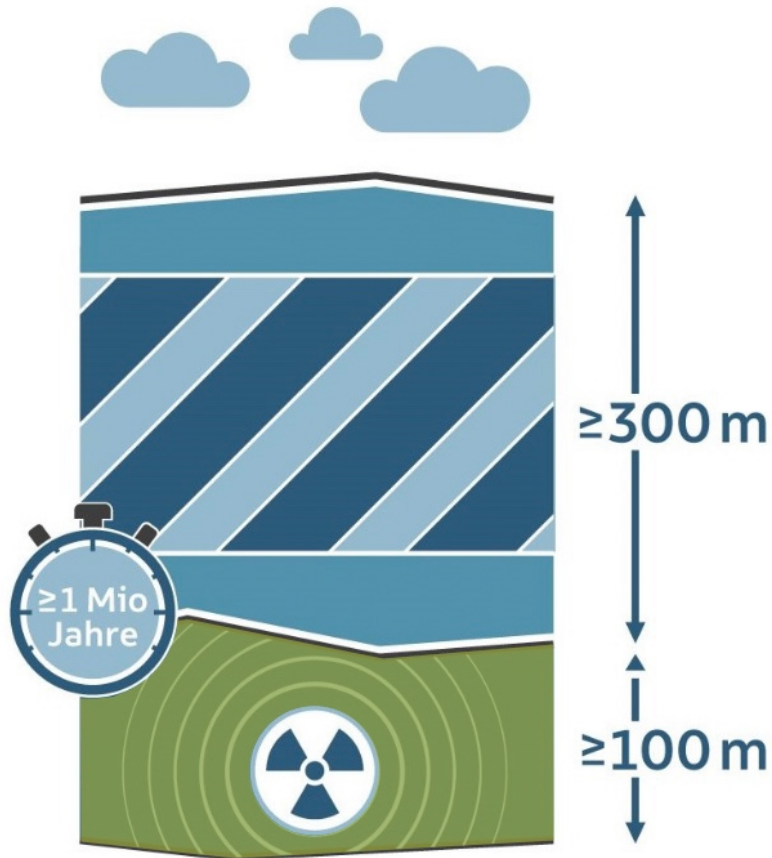
Plutonite entsprechend der Klassifikation nach Streckeisen (1974, 1976)



Hochgradig regionalmetamorphe Gesteine der Fazies Amphibolit, Eklogit und Granulit nach Eskola (1915)



(nach Bucher & Grapes 2011)

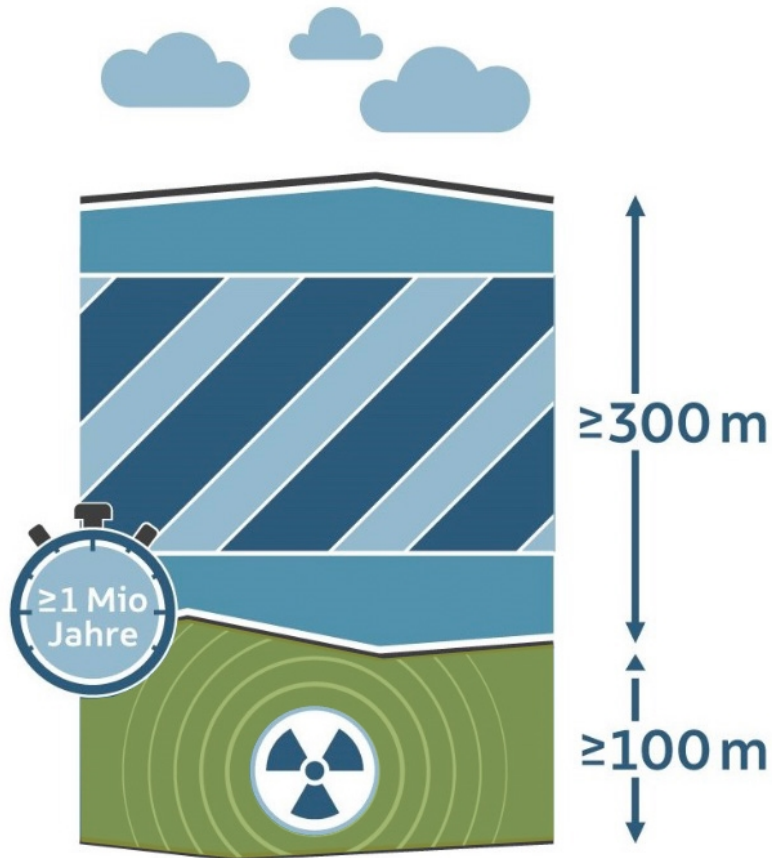


▪ Geringe Gebirgsdurchlässigkeit ($< 10^{-10} \text{ m/s}$)

Ausnahmeregelung für Kristallines Wirtsgestein:

„in einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich muss die Gebirgsdurchlässigkeit k_f **weniger als 10^{-10} m/s** betragen; sofern ein direkter Nachweis in den Begründungen für die Vorschläge nach den §§ 14 und 16 noch nicht möglich ist, muss nachgewiesen werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich aus Gesteinstypen besteht, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann; die Erfüllung des Kriteriums kann auch durch den **Einlagerungsbereich überlagernde Schichten nachgewiesen** werden.“ (§ 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG)

- Mindestanforderung „Gebirgsdurchlässigkeit“ § 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG wird entsprechend des Gesetzes in diesem Verfahrensschritt **nicht angewendet**



- **Mindestmächtigkeit von 200 m in kristallinem Wirtsgestein**

200 m Mächtigkeit ergeben sich aus **100 m Sicherheitsabstand horizontal (DBE TEC 2016) und vertikal um den Einlagerungsbereich**

maximale Suchteufe 1500 m u. GOK → Oberfläche des kristallinen Grundgebirges auf Höhenniveau von **1300 m u. GOK** oder höher

- § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG:

homogener kristalliner Gesteinskörper mit geringerer Mächtigkeit (z.B. aufgrund des Trennflächengefüges)

Nachweis des sicheren Einschlusses kann auch über das Zusammenwirken des kristallinen Wirtsgesteins mit **geotechnischen und technischen Barrieren** geführt werden

§ 23 Mindestanforderungen

§ 23 Abs. 5 StandAG

Die Mindestanforderungen sind:

- 1. Gebirgsdurchlässigkeit:** in einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich muss die Gebirgsdurchlässigkeit k_f weniger als 10^{-10} m/s betragen; sofern ein direkter Nachweis in den Begründungen für die Vorschläge nach den §§ 14 und 16 noch nicht möglich ist, muss nachgewiesen werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich aus Gesteinstypen besteht, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann; die Erfüllung des Kriteriums kann auch durch den Einlagerungsbereich überlagernde Schichten nachgewiesen werden;
- 2. Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs:** der Gebirgsbereich, der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen soll, muss mindestens 100 Meter mächtig sein; bei Gesteinskörpern des Wirtsgesteins Kristallin mit geringerer Mächtigkeit kann der Nachweis des sicheren Einschlusses für den betroffenen Gebirgsbereich bei Vorliegen geringer Gebirgsdurchlässigkeit auch über das Zusammenwirken des Wirtsgesteins mit geotechnischen und technischen Barrieren geführt werden; eine Unterteilung in mehrere solcher Gebirgsbereiche innerhalb eines Endlagersystems ist zulässig;

§ 23 Abs. 5 StandAG

Die Mindestanforderungen sind:

3. minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs: die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss mindestens 300 Meter unter der Geländeoberfläche liegen. In Gebieten, in denen im Nachweiszeitraum mit exogenen Prozessen wie insbesondere eiszeitlich bedingter intensiver Erosion zu rechnen ist, deren direkte oder indirekte Auswirkungen zur Beeinträchtigung der Integrität eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs führen können, muss die Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs tiefer als die zu erwartende größte Tiefe der Auswirkungen liegen; soll ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich im Gesteinstyp Steinsalz in steiler Lagerung ausgewiesen werden, so muss die Salzscheibe über dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich mindestens 300 Meter mächtig sein; soll ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich im Gesteinstyp Tonstein ausgewiesen werden, so muss zu erwarten sein, dass das Deckgebirge auch nach dem Eintreten der genannten exogenen Prozesse ausreichend mächtig ist, um eine Beeinträchtigung der Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch Dekompaktion ausschließen zu können;

§ 23 Abs. 5 StandAG

Die Mindestanforderungen sind:

4. Fläche des Endlagers: ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich muss über eine Ausdehnung in der Fläche verfügen, die eine Realisierung des Endlagers ermöglicht; in den Flächenbedarf des Endlagers eingeschlossen sind Flächen, die für die Realisierung von Maßnahmen zur Rückholung von Abfallbehältern oder zur späteren Auffahrung eines Bergungsbergwerks erforderlich sind und verfügbar gehalten werden müssen;

5. Erhalt der Barrierewirkung: es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, insbesondere die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.

Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit

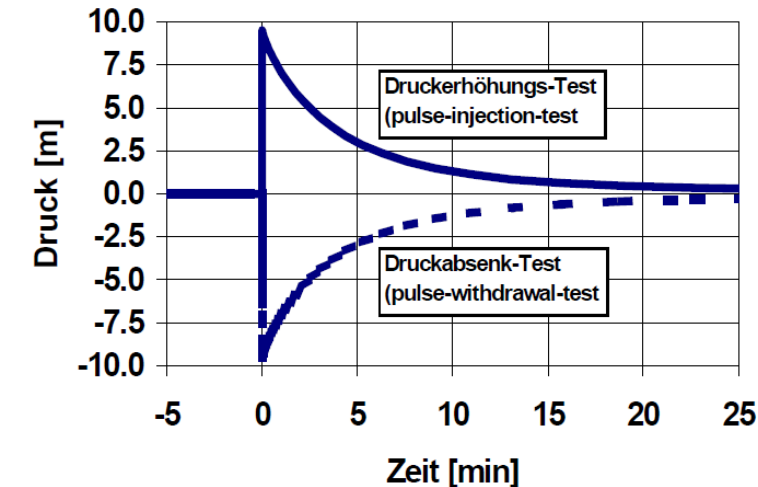
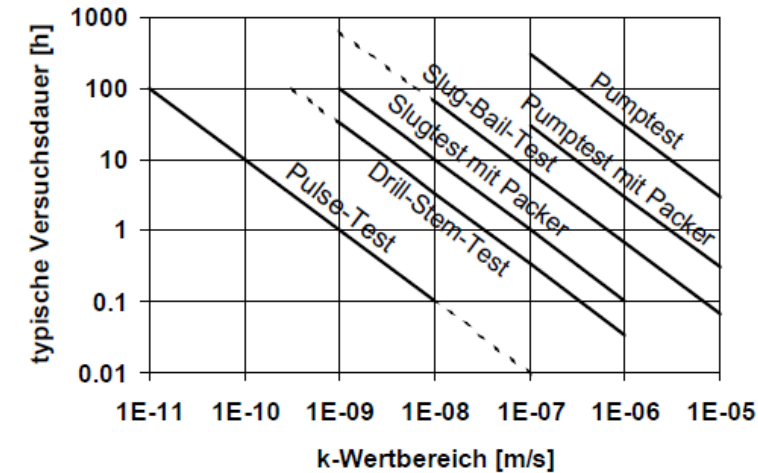
Pulse-Test – hydraulisches Testverfahren

- Test unter Verwendung eines geschlossenen Systems nach DIN EN ISO 22282-6 zur Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit
- Durch entsprechenden Packereinsatz (spezielle Ringraumdichtung) kann er zur Untersuchung von Durchlässigkeiten einzelner Gebirgsabschnitte genutzt werden
- Es wird eine Druckveränderung im Testintervall hervorgerufen; das Testventil wird dabei nur für einen kurzen Zeitraum geöffnet und danach sofort wieder verschlossen
- Druckausgleich bis zum Formationsdruck im Testintervall wird gemessen
- Eignet sich insbesondere für die Messung sehr geringer Durchlässigkeitsbeiwerte von $k = 10^{-11}$ bis 10^{-8} m/s

(<http://www.gdaempfehlungen.de/pdf/E1-04.pdf>)

Online-Auftaktveranstaltung zur Fachkonferenz Teilgebiete | 17.10.2020

GZ: SG01101/19-2/1-2020#1 | Objekt-ID: 834540



Definition

- Die **Gebirgsdurchlässigkeit** setzt sich aus der Durchlässigkeit der Gesteinsporen und der Durchlässigkeit des Trennflächengefüges zusammen.
- Die Permeabilität und der Durchlässigkeitsbeiwert beschreiben die Durchlässigkeit eines porösen Mediums gegenüber einem Fluid (z. B. Wasser), wobei sich die Permeabilität allein auf die Gesteinseigenschaften beschränkt und der Durchlässigkeitsbeiwert die Eigenschaften des Fluids zusätzlich einbezieht.
- Der Durchlässigkeitsbeiwert gibt an, welcher Volumenstrom Q bei einem hydraulischen Gradienten i pro Fläche A bei einer bestimmten Fluidtemperatur strömt.

(<http://www.gdaempfehlungen.de/pdf/E1-04.pdf>)

Die Permeabilität steht mit dem Durchlässigkeitsbeiwert unter Berücksichtigung der dynamischen Viskosität μ und der Dichte ρ_F des Fluids und der Erdbeschleunigung g durch die Formel

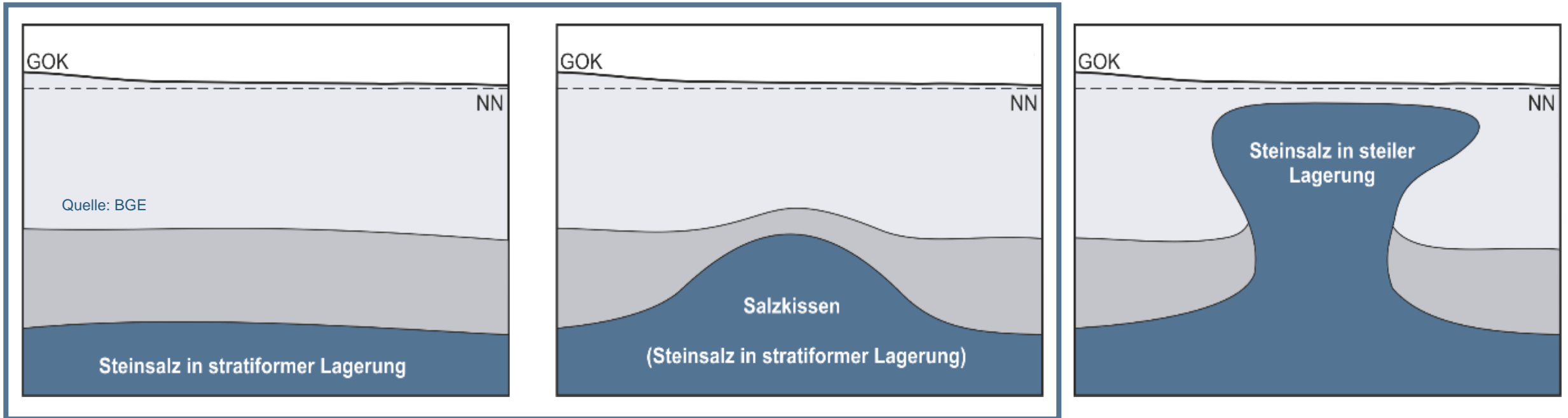
$$k_f = \frac{K \rho_F g}{\mu}$$

in Beziehung.

Struktur Zwischenbericht Teilgebiete (ZBTG)



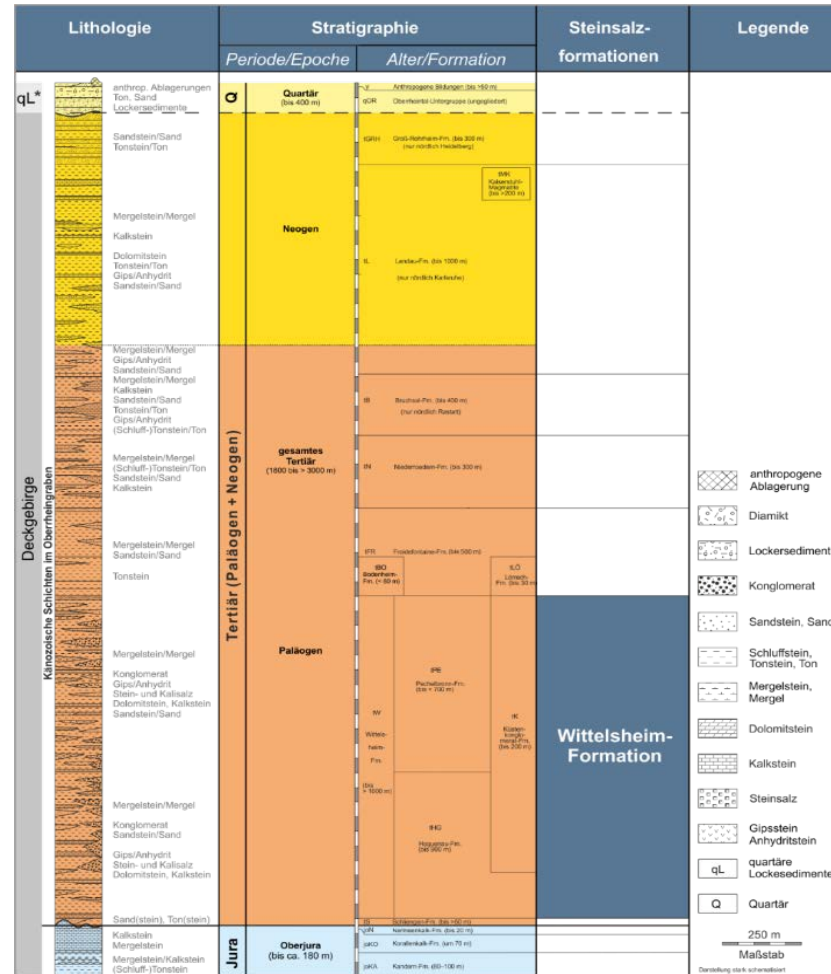
Steinsalz in stratiformer Lagerung



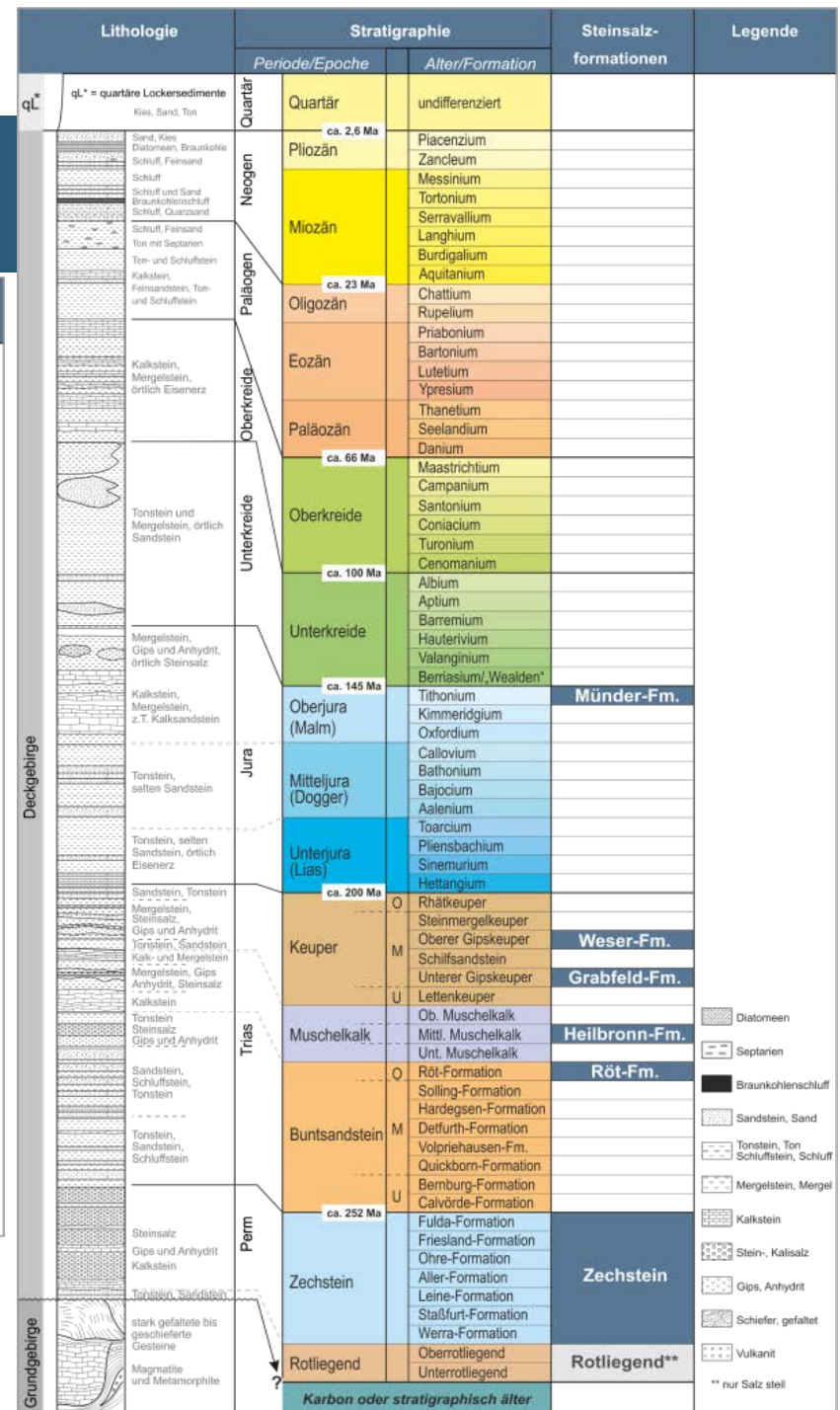
Identifizierte stratigraphische Einheiten

Salzformationen für Steinsalz in stratiformer Lagerung:

- Zechstein: Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation
- Oberer Buntsandstein: Röt-Formation
- Mittlerer Muschelkalk: Heilbronn-Formation
- Mittlerer Keuper: Grabfeld- und Weser-Formation
- Oberjura/Malm: Münder-Formation
- Tertiär: Wittelsheim-Formation



Schematisierte lithologische Schichtenfolge und Stratigraphie für Norddeutschland (rechts; basierend auf Heunisch et al. 2017 und Reinhold et al. 2013) und für Süddeutschland (links; basierend auf Geyer et al. 2011, Villinger et al. 2016 und Reinhold et al. 2016)

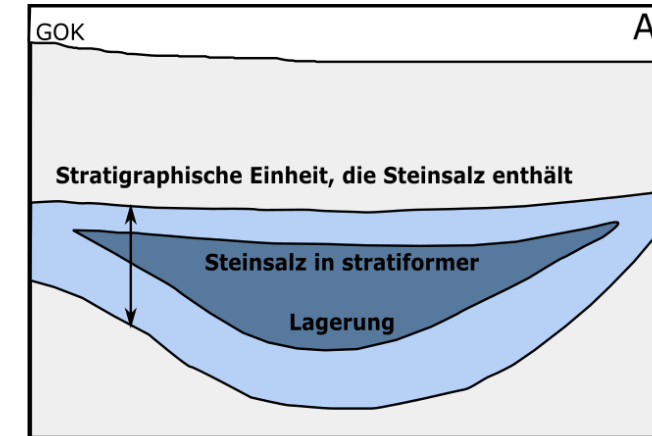
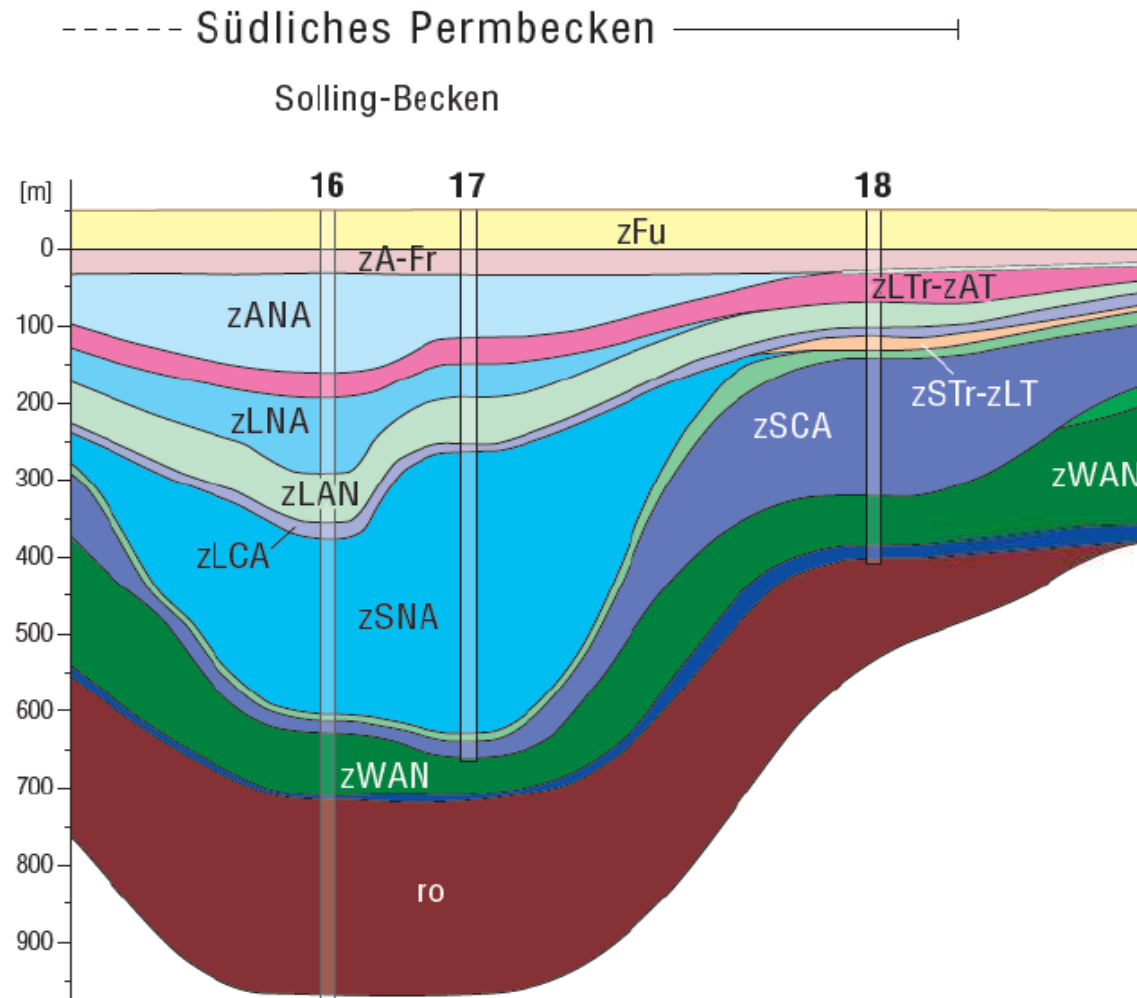


Beispiel: Zechstein 078_04TG_197_04IG_S_f_z

Solling- Becken:
Süd-niedersachsen,
Nordhessen und
Nordrhein-Westfalen

Mindestens 100 m
mächtige Steinsalze
sind möglich in:

- Staßfurt-Folge
- Leine-Folge
- Aller-Folge



Anwendung der Mindestanforderungen in 3D

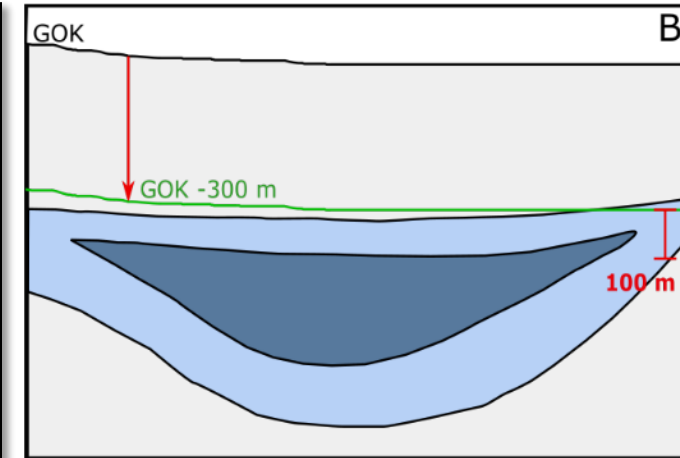
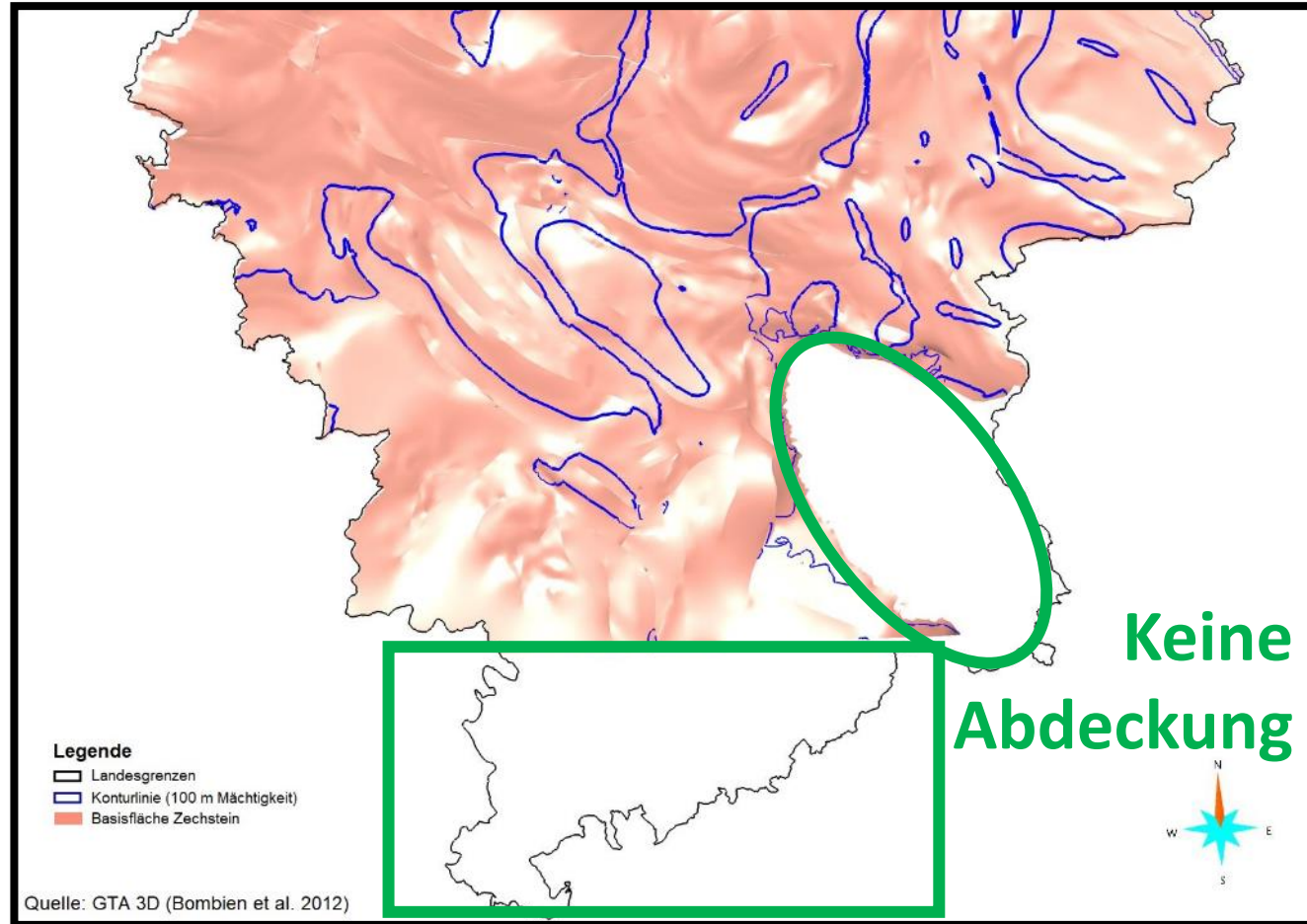
Süd-Niedersachsen

3D-Modell: GTA 3D
(Bombien et al. 2012)

Grenzflächenmodell
mit 16 Flächen

Basisfläche
Zechstein

Kalkulation der
Mächtigkeit des
gesamten Zechsteins



Anwendung der Mindestanforderungen in 3D

Süd-Niedersachsen

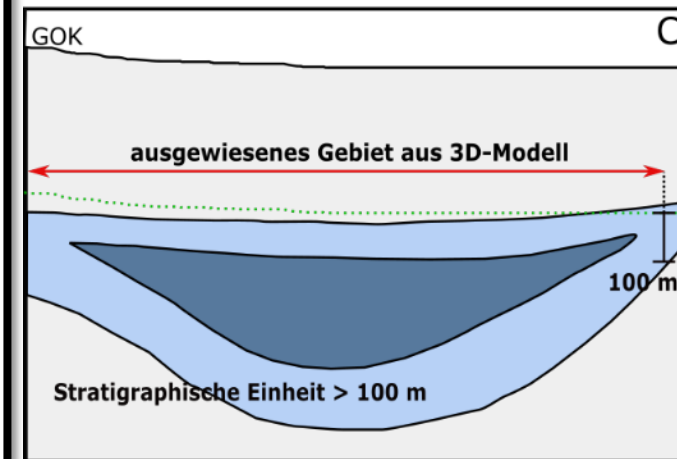
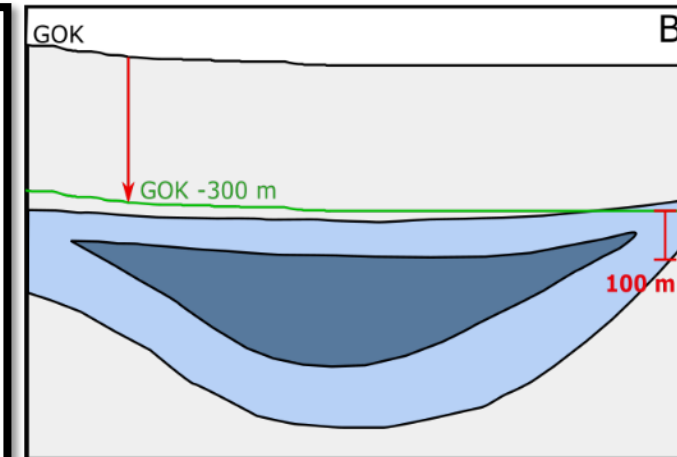
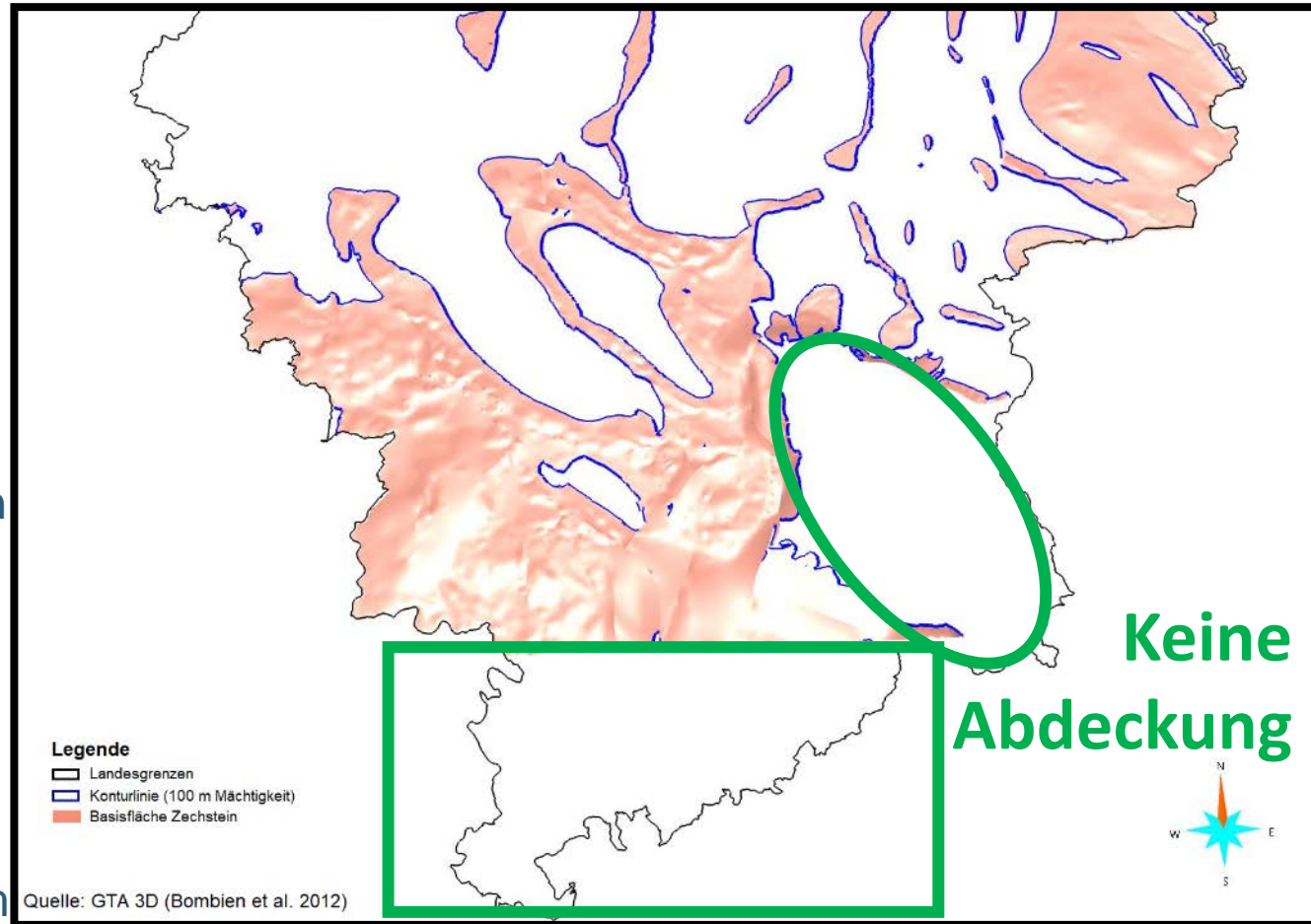
3D-Modell: GTA 3D
(Bombien et al. 2012)

Grenzflächenmodell
mit 16 Flächen

Basisfläche Zechstein

Kalkulation der
Mächtigkeit des
gesamten Zechsteins

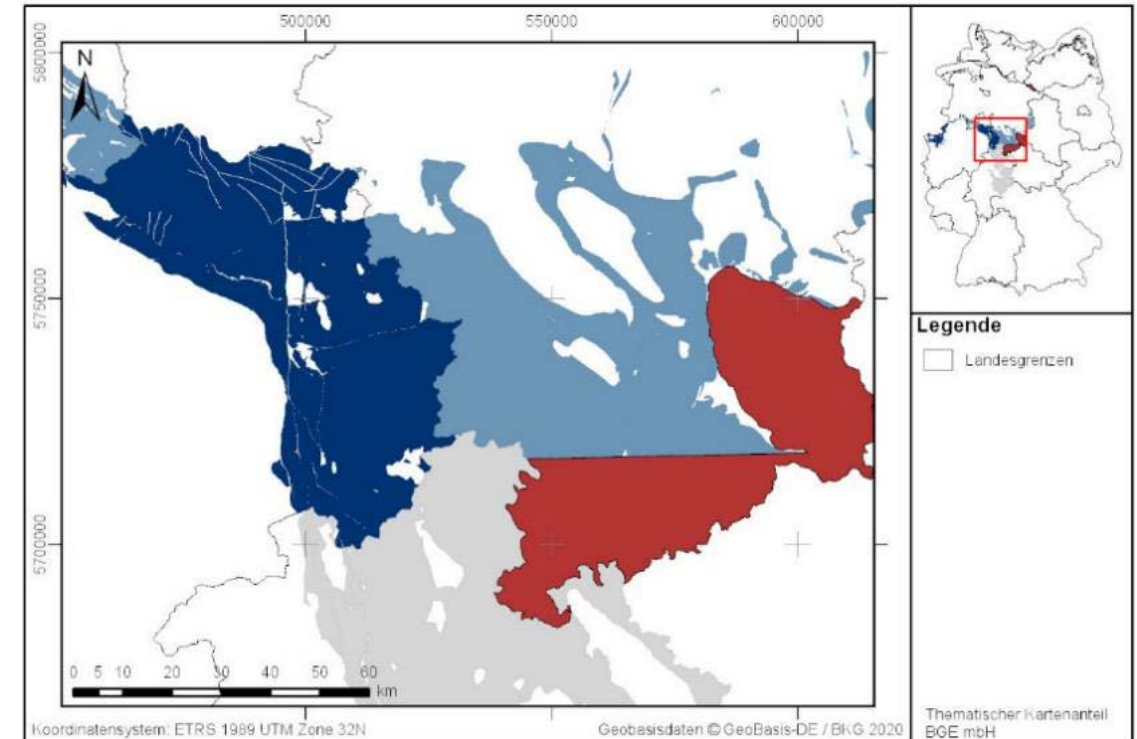
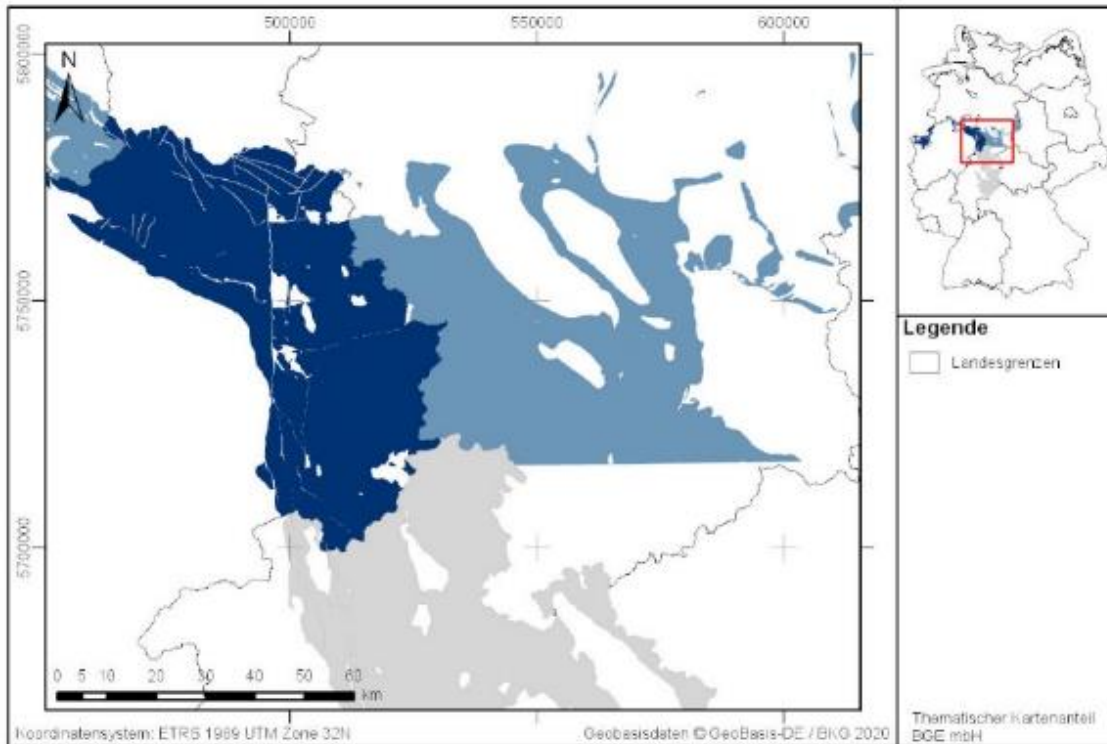
Zuschnitt auf Flächen
mit mindestens 100 m



Beispiel: Zechstein 078_04TG_197_04IG_S_f_z

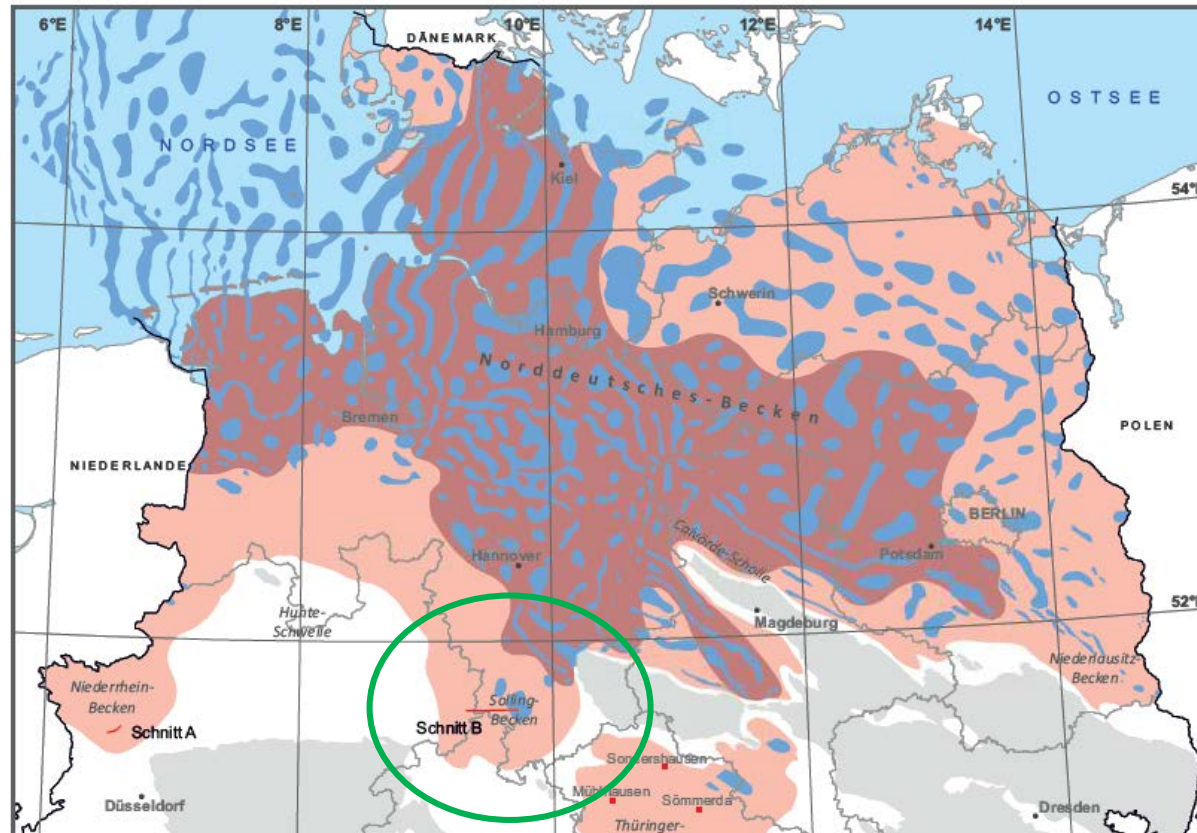
Output aus 3D-Geomodellen für Niedersachsen,
Hessen und Nordrhein-Westfalen

ohne Abdeckung durch ein 3D-Modell (rot)

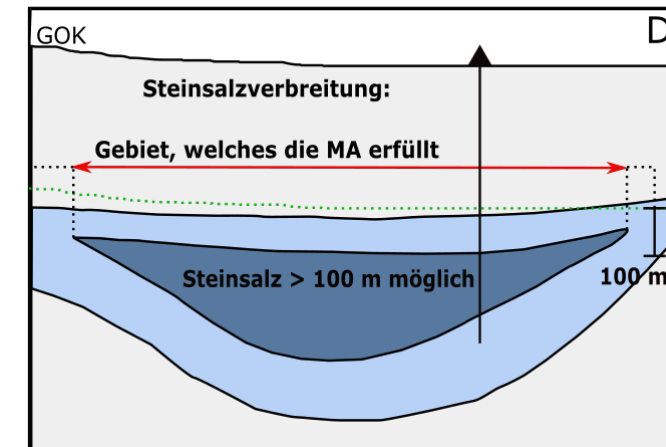
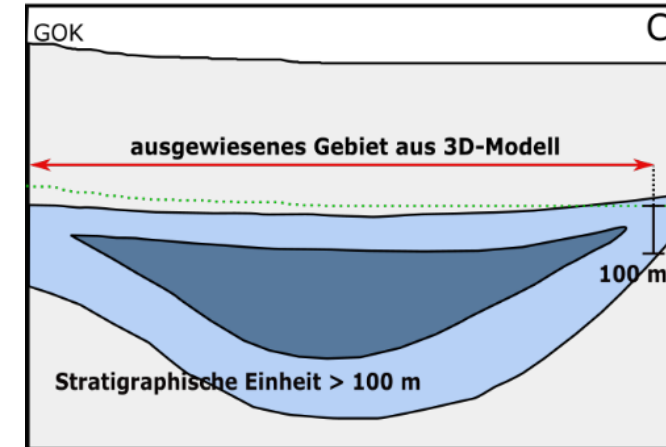


Anwendung der Mindestanforderungen in 2D

Bundeslandspezifische Bearbeitung mit Karten und Bohrungsdaten

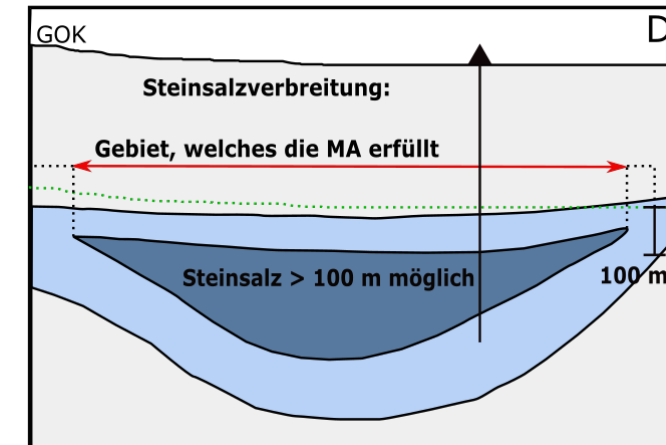
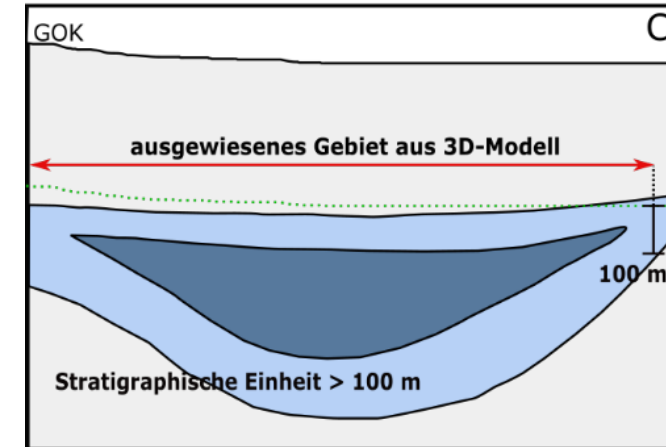
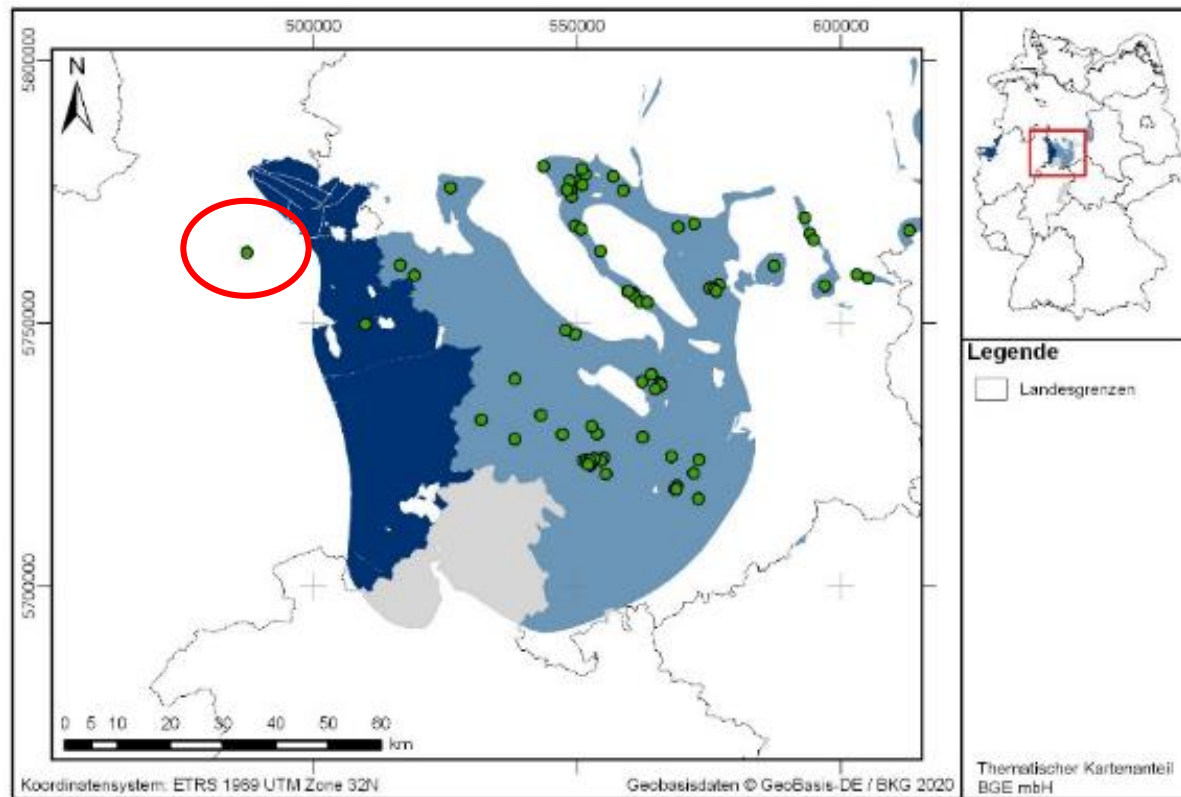


Ausschnitt aus „Verbreitung der Halit-führenden Zechstein-Salinare“ aus BASAL Studie der BGR, Reinhold et al. 2014



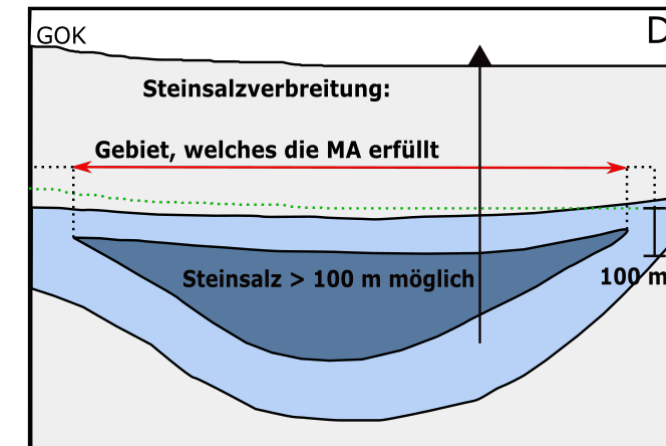
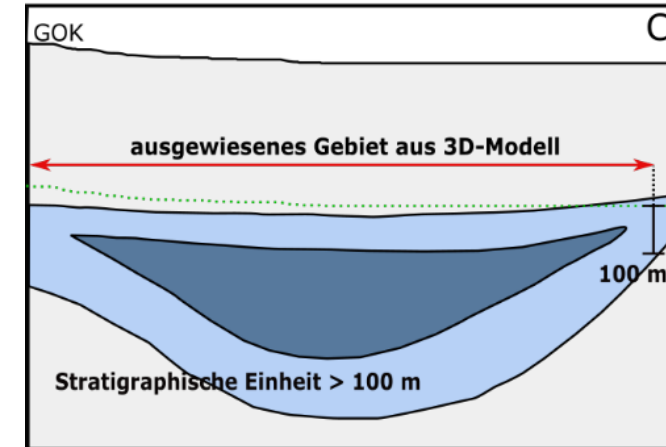
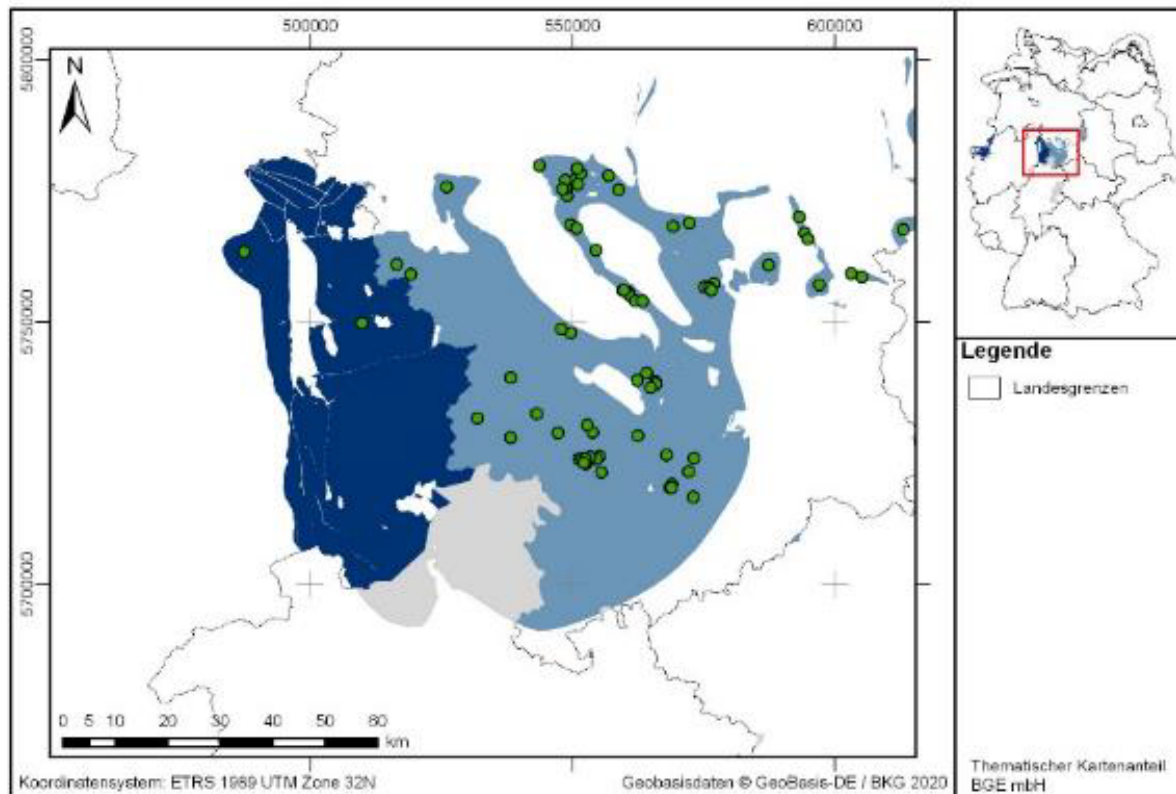
Anwendung der Mindestanforderungen in 2D

Bundeslandspezifische Bearbeitung mit Karten und Bohrungsdaten

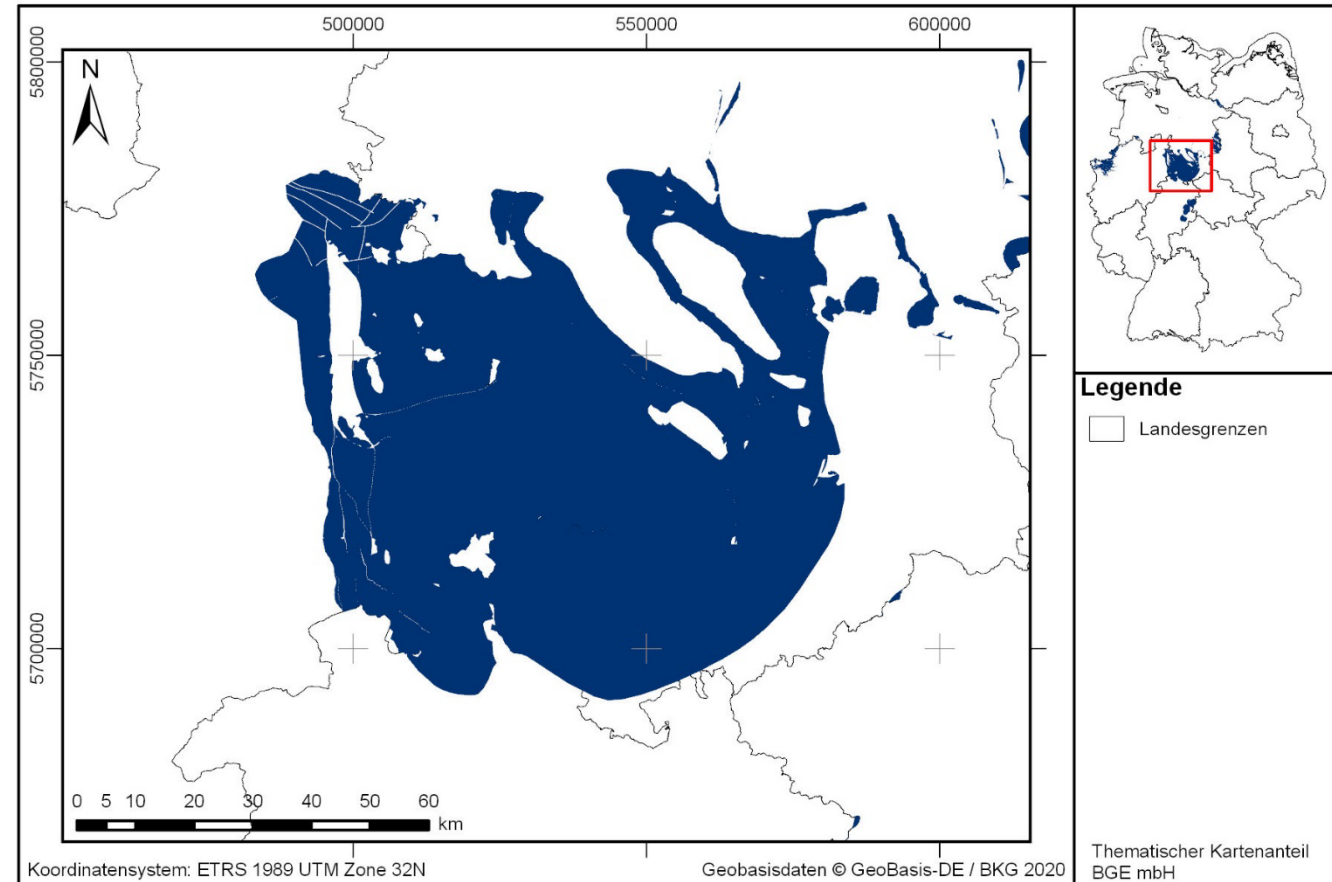


Anwendung der Mindestanforderungen in 2D

Bundeslandspezifische Bearbeitung mit Karten und Bohrungsdaten

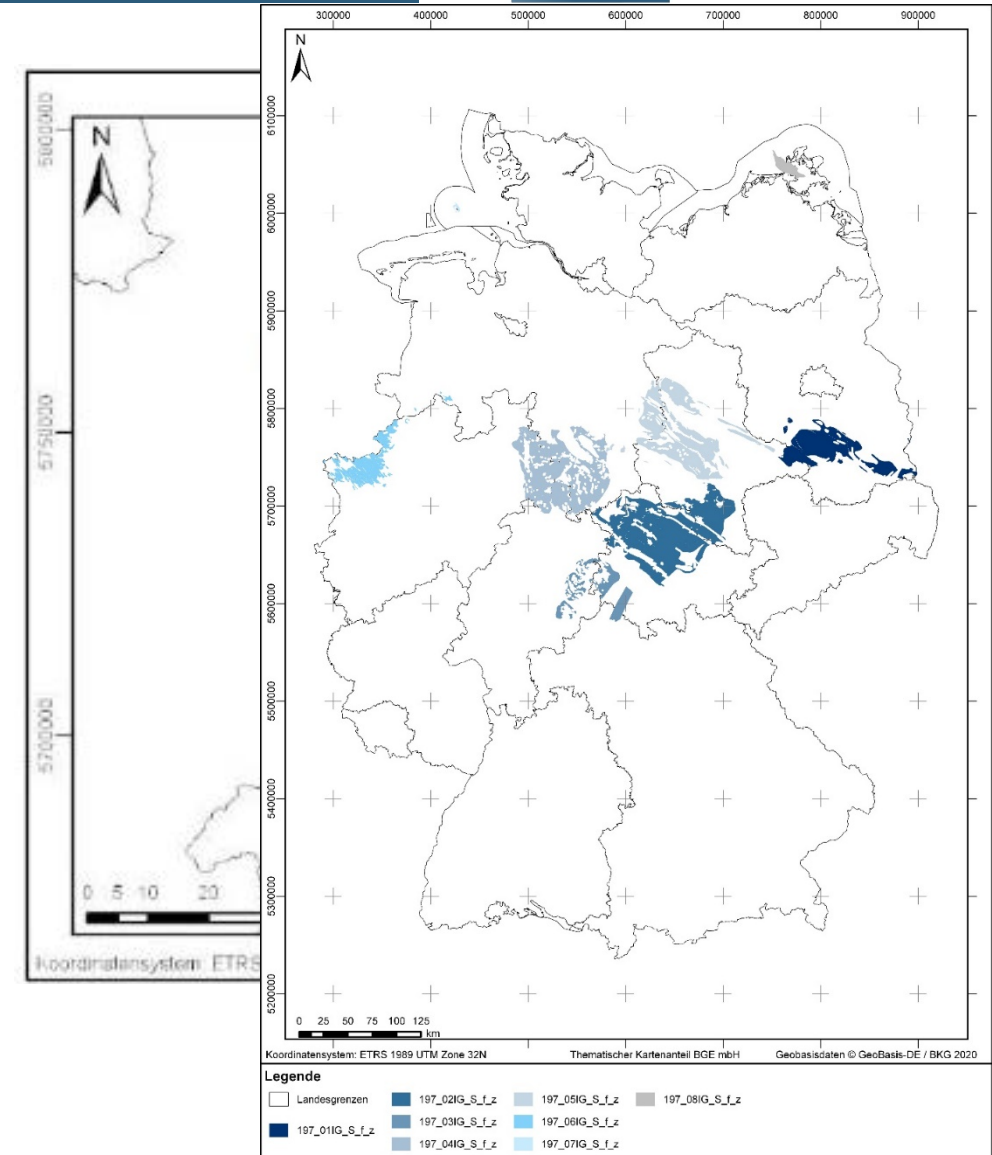


- Abgleich der Ergebnisse an Bundeslandgrenzen
- Zusammenfassen der Flächen nach vergleichbarer Entwicklungsgeschichte
- Verschneiden mit den ausgeschlossenen Gebieten nach § 22 StandAG
- Prüfung auf Erfüllung des Flächenbedarfs (§ 23 Abs. 5 Nr. 4 StandAG)
- Prüfung auf Erfüllung des Erhalts der Barrierewirkung (§ 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG)
- Ausweisen von identifizierten Gebieten



Identifizierte Gebiete – Zechstein

ID Identifiziertes Gebiet	Strukturname	Mächtigkeit _{max} in m	Tiefe _{min} in m u. GOK	Tiefe _{max} in m u. GOK	Gesamtfläche in km ²
197_01IG_S_f_z	Niederlausitzer Becken	910	400	1 500	2582
197_02IG_S_f_z	Thüringer Becken	1200	400	1 500	6151
197_03IG_S_f_z	Werra-Fulda-Becken	540	400	1230	1172
197_04IG_S_f_z	Solling Becken	1200	400	1 500	4574
197_05IG_S_f_z	Subherzyn-Mulde und Calvörde-Scholle	1200	400	1 500	3807
197_06IG_S_f_z	Niederrhein-Ems-Gebiet	830	400	1 500	1541
197_07IG_S_f_z	Helgoland	740	1490	1 500	29
197_08IG_S_f_z	Nordöstliches Norddeutsches Becken	340	1060	1 500	318



Online-Auftaktveranstaltung zur Fachkonferenz Teilgebiete | 17.10.2020

GZ: SG01101/19-2/1-2020#1 | Objekt-ID: 834540